

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Hornicko-geologická fakulta

Institut environmentálního inženýrství

Návrh protipovodňového opatření v obci Bolatice

- Etapa II

The flood protection design measures in village Bolatice

- Stage II

diplomová práce

Autor:

Bc. Lukáš Gola

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Dvorský, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Gola**
Studijní program: N2102 Nerostné suroviny
Studijní obor: 2102T006 Technologie a hospodaření s vodou
Téma: **Návrh protipovodňového opatření v obci Bolatice - Etapa II**
The flood protection design Measures in village Bolatice - Stage II

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Popis stávajícího stavu
3. Vytipování problému
4. Teoretické principy řešení daného problému
5. Návrh možných variant řešení, výběr vhodné varianty a její následné rozpracování (výpočetní část, grafická část)
6. Odhad ekonomických nákladů rozpracované varianty řešení
7. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

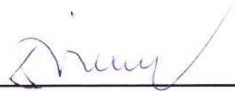
- [1] VÁCLAVÍK, V.: Účelové vodohospodářské nádrže, učební texty VŠB-TU Ostrava, 2007.
[2] VRÁNA, Karel a Jan BERAN. Rybníky a účelové nádrže. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 150 s. ISBN 80-01-02570-5.
[3] ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže
[4] SLAVÍKOVÁ, L. a kol., Ochrana před povodněmi v urbanizovaných územích, Praha, 2007, 82s., ISBN 978-80-86684-48-2

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Dvorský, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2012

Datum odevzdání: 30.04.2013


prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
vedoucí institutu




prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.
děkan fakulty

Prohlášení

Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce.

Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 15.4.2013

Bc. Lukáš Gola

Poděkování

Děkuji vedoucímu své diplomové práce Ing. Tomáši Dvorskému, Ph.D. za poskytnutí mnohých cenných rad, ochotný přístup a čas strávený při vytváření mé závěrečné práce. V neposlední řadě také děkuji své nejbližší rodině za léta podpory při svých studiích.

Anotace

Předložená diplomová práce zpracovává řešení protipovodňové ochrany obce Bolatice. Analyzuje také problematiku výskytu povodní obecně i konkrétně pro řešenou lokalitu.

Teoretická část práce se zabývá popisem současného stavu obce a hydrologickými podmínkami v oblasti. Následuje lokální vytipování problému, jeho legislativní a technické řešení. Na závěr je zmiňována obecná problematika výskytu povodní.

Praktická část řeší individuální návrh nového místního suchého poldru, jeho výpustného zařízení a bezpečnostního přelivu. Zpracovává zvolenou variantu řešení v podobě hydrotechnických výpočtů, výkresové dokumentace s doprovodným popisem. Na konci praktické části je popsán odhad ekonomických nákladů.

Výkresy situace, podélného profilu nádrže, podélného profilu hráze, vzorových příčných řezů tělesem hráze a výkresem funkčního objektu jsou přiloženy k diplomové práci v tištěné podobě.

Klíčová slova: Bolatice, hráz, odvodnění obcí, protipovodňová ochrana, suchá retenční nádrž, poldr, přívalový déšť

Summary

Presented graduation thesis elaborates a flood protection treatment of commune Bolatice. It also analyses the issue of appearance of flooding generally and specifically for solved locality.

The theoretical part of the thesis deals with a description of current state of the commune. It's followed by the identification of local proposition, its legislative and technical solving. In conclusion are mentioned universal matters of flooding.

The practical part resolves individual design of new local polder, its eductive equipment and security spillway. It processes the selected option of solution in the form of hydraulic calculations, drawing documentation with an accompanying descriptions. In the end of practical part is described an estimation of economic costs.

Drawings of the situation, the longitudinal profile of the reservoir, the longitudinal profile of the dam, the model cross-sections of dam's ensemble and drawing of functional object are attached to graduation thesis in printed form.

Keywords: Bolatice, dam, rural drainage, flood protection, dry retention reservoir, polder, rainstorm

Seznam zkratek

| | |
|-------|---|
| BP | bezpečnostní přeliv |
| ČHMÚ | Český hydrometeorologický ústav |
| ČKAIT | Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků |
| ČOV | čistírna odpadních vod |
| ČSN | Česká státní norma |
| ČÚZK | Český úřad zeměměřický a katastrální |
| DP | diplomová práce |
| DN | nominální průměr [mm] |
| IZS | Integrovaný záchranný systém |
| MVN | malá vodní nádrž |
| MZe | Ministerstvo zemědělství |
| MŽP | Ministerstvo životního prostředí |
| SPA | stupeň povodňové aktivity |
| SM-10 | státní mapa v měřítku 1:10 000 |
| SMO-5 | státní mapa odvozená v měřítku 1:5 000 |
| TBD | technicko-bezpečnostní dohled |
| TNV | technická norma vodního hospodářství |
| VD | vodní dílo |
| ZVHM | základní vodohospodářská mapa |
| ZM-10 | základní mapa v měřítku 1:10 000 |
| ŽP | životní prostředí |
| ŽB | železobeton |

Obsah

| | |
|--|---------------|
| 1. ÚVOD | - 1 - |
| 2. POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU | - 2 - |
| 2.1. ZÁKLADNÍ ÚDAJE OBCE BOLATICE..... | - 2 - |
| 2.2. HYDROLOGICKÉ A KLIMATICKÉ POMĚRY | - 3 - |
| 3. VYTIPOVÁNÍ PROBLÉMU | - 5 - |
| 3.1. VÝSKYT POVODNÍ V OBCI..... | - 5 - |
| 3.2. SOUSTAVA POLDRŮ..... | - 6 - |
| 3.3. REGULACE ODTOKŮ Z RETENČNÍCH NÁDRŽÍ PŘI POVODNI..... | - 7 - |
| 4. TEORETICKÉ PRINCIPY ŘEŠENÍ DANÉHO PROBLÉMU..... | - 9 - |
| 4.1. LEGISLATIVNÍ PRINCIPY ŘEŠENÍ..... | - 9 - |
| 4.2. TECHNICKÉ PRINCIPY ŘEŠENÍ..... | - 11 - |
| 4.2.1. Dělení retenčních nádrží..... | - 11 - |
| 4.2.2. Podklady pro návrh ochranné nádrže | - 11 - |
| 4.2.3. Návrh hráze | - 13 - |
| 4.2.4. Původ povodní..... | - 20 - |
| 4.2.5. Přírodní povodně | - 20 - |
| 4.2.6. Zvláštní povodně | - 22 - |
| 4.2.7. Zvládání povodňových rizik..... | - 23 - |
| 4.2.8. Polutanty v nádržích | - 24 - |
| 4.2.9. Suché nádrže..... | - 25 - |
| 5. NÁVRH MOŽNÝCH VARIANT ŘEŠENÍ, VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY A JEJÍ NÁSLEDNÉ ROZPRACOVÁNÍ | - 26 - |
| 5.1. VARIANTA A | - 26 - |
| 5.2. VARIANTA B | - 29 - |
| 5.2.1. Charakteristiky nádrže..... | - 30 - |
| 5.2.2. Transformace povodňové vlny | - 31 - |
| 5.2.3. Návrh hráze | - 33 - |
| 5.2.4. Materiál hráze..... | - 34 - |
| 5.2.5. Vzdušní a návodní líc | - 34 - |
| 5.2.6. Patní drén..... | - 35 - |
| 5.2.7. Bezpečnostní přeliv | - 35 - |
| 5.2.8. Výpustné zařízení | - 37 - |
| 5.2.9. Odtok z nádrže..... | - 39 - |
| 6. ODHAD EKONOMICKÝCH NÁKLADŮ ROZPRACOVANÉ VARIANTY ŘEŠENÍ..... | - 44 - |
| 7. ZÁVĚR..... | - 45 - |

1. Úvod

Zodpovědnost za zachování lidského a přírodního systému závisí především na člověku samém. Je v jeho zájmu zajímat se o potřeby krajiny kolem něj. Projevit svou vůli v podobě kompromisů a inovací k vytvoření jedné celistvé fungující entity s přírodou.

Jeden z těchto kroků k zachování stability je i sofistikovaná vodohospodářská činnost. Řízené zasahování do koloběhu vody může mít v konečném výsledku výhody pro obě strany. Lidé mají od pradávna tendenci budovat své příbytky v níže položených oblastech z důvodů zajištění snadného přístupu potřebné vody a dobré dostupnosti vzhledem k ostatním sídlům. Zemědělská a později průmyslová činnost měla za následek omezování původního lesnatého porostu. Z hlediska orografického toto umístění sídel s sebou nese, kromě těchto výhod, také výskyt povodňových kalamitních stavů a sesuvů půdy ohrožujících životy a majetek obyvatel těchto útvarů. Vzhledem k takto dlouho logicky se vyvíjejícímu stavu není v našich silách vytvořit alternativu v podobě umístění původních sídel na jiných místech. Výskyt povodní se jeví jako jediný a zanedbatelný argument k proveditelnosti této alternativy. Vycházíme tedy z těchto podmínek a pracujeme na maximálním možném zamezení následků této, v porovnání s ostatními přírodními katastrofami, často se vyskytující události.

Jednou z takovýchto variant je výstavba poldrů k retenci povrchové vody a transformaci povodňové vlny. Ke snadnějšímu návrhu samotného poldru, jeho vybudování, menší finanční zatíženosti a efektivitě se využívá reliéf vytipované oblasti. Znamená to zároveň menší zásah do podoby krajiny. Retenční prostor poldru polosuchého může v bezpovodňovém období plnit ekologickou funkci menší vodní plochy. Prostor suchého poldru může sloužit jako zemědělsky využívaná půda. Poldr je tak různým způsobem využíván v každém období.

Kromě újm na životech způsobují povodně také ztráty na majetku a průmyslové havárie. Vzniká tak stavební a chemicky nebezpečný odpad. Vzniklé škody je třeba nahradit dalším stavebním materiálem, dále je potřebné zajistit celkovou rekonstrukci infrastruktury. Sanace plochy zasažené průmyslovou havárií je obtížně v praxi aplikovatelná. Poldr se tak jeví jako vhodný protipovodňový nástroj nesoucí prospěch člověku i životnímu prostředí.

2. Popis stávajícího stavu

2.1. Základní údaje obce Bolatice

Obec Bolatice leží v Moravskoslezském kraji v okrese Opava. Má katastrální výměru 13,2 km². Je situována 10,5 km východně od města Opavy v jižní části Hlučínské pahorkatiny. Nejbližší hranice s Polskem se nachází 5 km severovýchodním směrem. K datu 1. 1. 2012 zde žije 4 430 obyvatel a jejich počet nadále průběžně narůstá. Obec samotná se rozprostírá v průměrné nadmořské výšce 260 m n. m. na ploše 132 ha. Z toho zaujímá veřejné prostranství plochu 0,76 ha a průmyslová zóna 16 ha, v níž momentálně působí 20 firem. Místní komunikace jsou zřízeny v délce 16,5 km. Z převážné části je obec obklopena obhospodařovanými poli o výměře 627 ha. Pozice nejnižšího bodu je 240 m n. m. a je orientována na jižním okraji obce při soutoku Černého potoka a Opusty.

Osada Borová, nacházející se 1,5 km východně od obce, je součástí Obce Bolatice. Severovýchodně od bolatické zástavby ustupuje hospodářská půda Chuchelenskému lesu a lesu Bažantnici se smrkovým a borovým porostem. Zalesněné plochy se nachází v nadmořské výšce 270 – 313 m n. m.

Koncem 60. let byla v obci vybudována nová kanalizace. V 70. a 80. letech dochází v obci k velkému stavebnímu rozkvětu. Je postavena budova mateřské školy, obchodní dům, koupaliště, nová budova obecního úřadu, pošta atd. V 70. letech se vybudovaly i suché retenční hráze k ochraně obce před povodněmi. V 80. letech se začal budovat v obci vodovod. Začátkem 90. let pak plynovod, který byl dostavěn v roce 1996.

V obci je zastoupen lehký průmysl, zemědělská výroba a další dílčí formy podnikání. Občané obývají domy a bytové jednotky, jež jsou v současné době napojeny na veřejný vodovod, plynovod a veřejnou kanalizaci. Všechny odpadní vody v obci jsou čištěny v jedné ze 3 ČOV (Bolatice, Průmyslová zóna, Borová) [1], [2], [3].



Obr. 1 Poloha obce v Moravskoslezském kraji [4]

2.2 Hydrologické a klimatické poměry

Obec se nachází na levém břehu potoka Opusta tekoucí na východ. Koryto potoka se po 2 km stáčí na jih, obtéká soustavu rybníků až k východnímu okraji Dolního Benešova, kde ústí do řeky Opava. Následující hydrologické údaje jsou platné pro zvolený profil toku Opusta nacházející se 390 m od pramene u propustku pod místní komunikaci Na Panské cestě. Data byla poskytnuta ČHMÚ na základě písemné žádosti.

Povodí Opusty se nachází v mírně teplé oblasti MT 10. Léta jsou zde dlouhá, teplá, mírně suchá. Zimní měsíce jsou suché s krátkou dobou trvání sněhové pokrývky. Přechodná období jara a podzimu jsou krátká a mírně teplá [5].

Tab. 1 Hydrologická data pro zájmový profil toku Opusta [6]

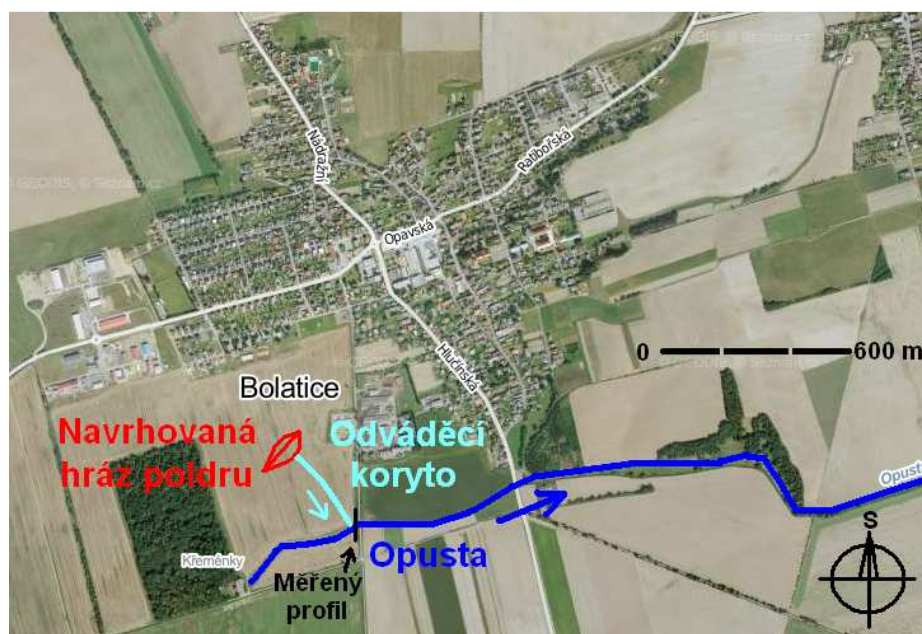
| Opusta - hydrologické údaje | |
|---|--------------|
| Číslo hydrologického pořadí | 2-02-03-0140 |
| Plocha povodí [km ²] | 1,93 |
| Dlouhodobá prům. roční výška srážek na povodí [mm] | 652 |
| Dlouhodobý průměrný průtok Q_a [l.s ⁻¹] | 5,8 |

Tab. 2 M-denní průtoky v zájmovém profilu toku Opusta [6]

| M | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 355 | 364 |
|---------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $Q_{Md} [l.s^{-1}]$ | 15,0 | 10,0 | 6,6 | 5,0 | 4,0 | 3,1 | 2,5 | 1,9 | 1,5 | 1,1 | 0,9 | 0,4 | 0,3 |

Tab. 3 N-leté průtoky v zájmovém profilu toku Opusta [6]

| N | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $Q_N [m^3.s^{-1}]$ | 0,630 | 0,930 | 1,430 | 1,880 | 2,400 | 3,180 | 3,860 |



Obr. 2 Navrhované protipovodňové opatření v obci [3]

Tab. 4 Intenzity dešťů na Opavsku [7]

| Doba trvání [min] | Intenzita deště při periodicitě n [$l.s^{-1}.ha^{-1}$] | | | | |
|-------------------|--|------|------|------|------|
| | 1 | 0,5 | 0,2 | 0,1 | 0,05 |
| 5 | 220 | 267 | 327 | 377 | 424 |
| 10 | 152 | 190 | 244 | 286 | 329 |
| 15 | 117 | 147 | 188 | 220 | 253 |
| 20 | 96,8 | 121 | 155 | 182 | 208 |
| 30 | 72,6 | 90,7 | 116 | 130 | 156 |
| 40 | 59,2 | 73,8 | 94,6 | 111 | 127 |
| 60 | 43,4 | 54,2 | 69,5 | 81,4 | 93,4 |
| 90 | 31,7 | 39,8 | 50,7 | 59,5 | 67,8 |
| 120 | 25,3 | 31,6 | 40,4 | 47,4 | 54,1 |

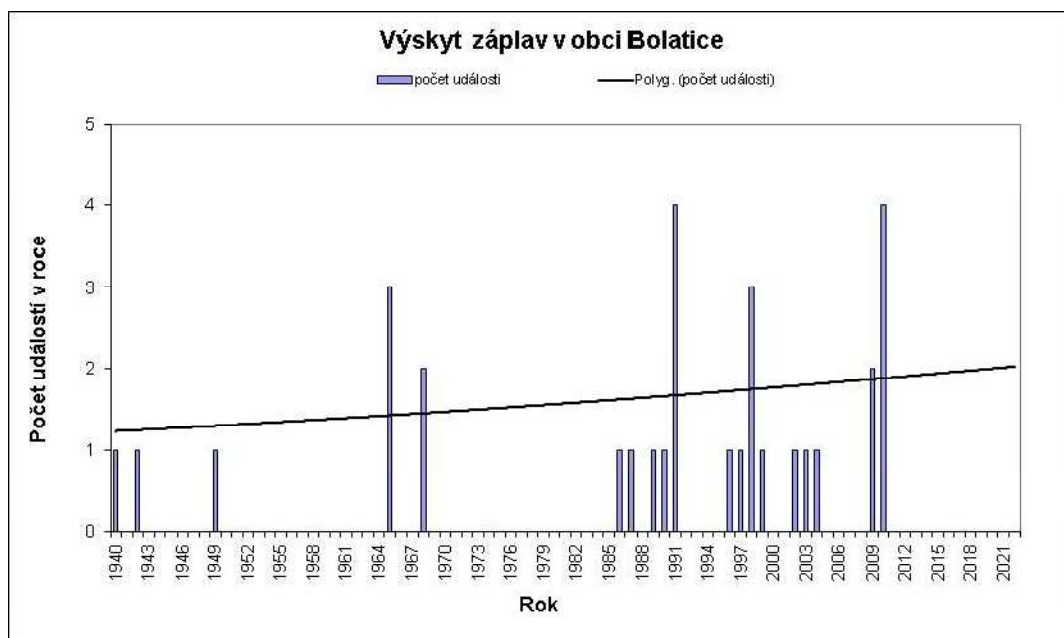
3. Vytipování problému

3.1. Výskyt povodní v obci

Zeměpisné umístění obce má za následek dlouhodobé sužování obyvatelstva výskytem povodňové aktivity. Sociální a ekonomický rozvoj s sebou přinesl také expanzi urbanizované plochy. Morfologická konfigurace terénu však zůstává nezměnná, což snižuje bezpečnost v obci při povodních [8].

Správa obce tak pracuje s možností začleňování protipovodňové ochrany do svého územního plánování, jež by jim pomohla zajistit celkový udržitelný rozvoj území s ohledem na ŽP, hospodářský rozvoj a potřeby občanů obce. Koordinuje proto veřejné i soukromé zájmy při změnách ve spravovaném území.

Výrazné povodňové jevy byly evidovány v letech 1991, 1997 a 2010. V posledních 20 letech je četnost záplavových událostí výrazně vyšší. Zvýšené intenzity srážek se někdy projeví i opakovaně v jednom roce [9].



Graf 1 Četnost záplav v obci Bolatice [9]

3.2. Soustava poldrů

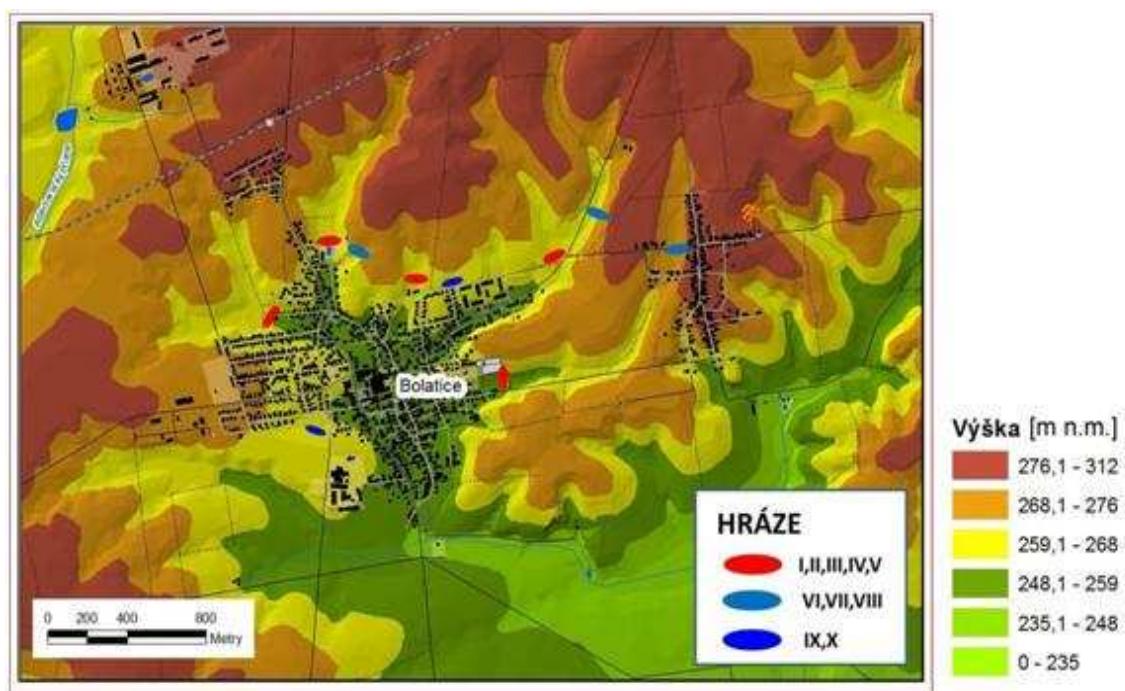
Koncept ochrany obce před povodněmi spočívá ve vybudované soustavě suchých retenčních nádrží (tzv. poldrů), jež obklopují blízké nezastavěné okolí obce. Obec je tak pomyslně rozdělena na dílčí povodí. Regulovaný odtok z nádrží je odváděn do kanalizační sítě obce ve smyslu nepřekročení její kapacity a zamezení možnosti zatopení intravilánu.

V letech 1967 až 1993 bylo nad obcí vybudováno 5 retenčních nádrží (I, II, III, IV, V). Zkušenosti z 90. let minulého století však prokázali nedostatečnou účinnost, a tak byly hráze zrekonstruovány a další 3 byly vybudovány (VI, VII, VIII). V roce 2011 přibyli ještě 2 SN (IX, X). Přes 90 % procent povodí Bolatického potoka spadá k přítomným poldrům, což je plocha o výměře větší než 6 km². Objem nádrží se pohybuje v rozmezí 6 400 až 121 000 m³ [10], [11].

Hlavním účelem SN je zadržování vody při vysokých úhrnech srážek a regulace odtoku z nádrže. Její zátopa se běžně lesnický nebo zemědělsky využívá. Vytvoření malého stálého nadržení se doporučuje za účelem zachování trvalého vodního režimu v základové spáře hráze. Dochází také k ovlivnění blízkého mikroklimatu, je stabilizován splaveninový režim v níže orientovaném recipientu a omezení účinků erozní činnosti ve vlastním korytě [12], [13].



Obr. 3 Poldr vybudovaný v roce 2011 u ulice Polní [14]



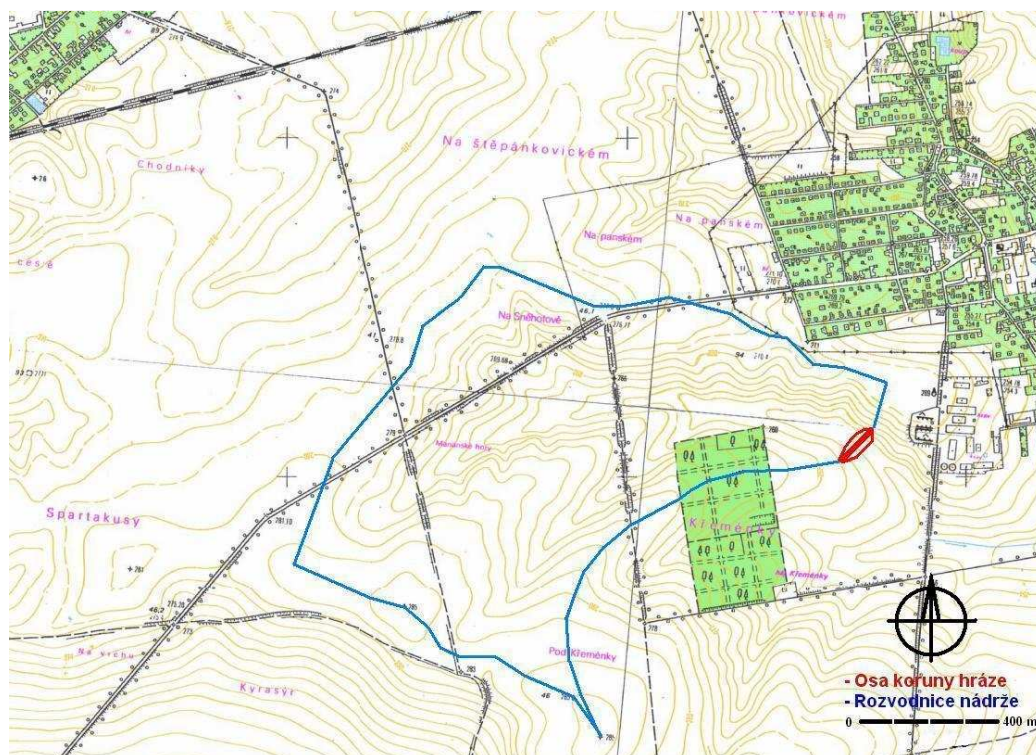
Obr. 4 Lokalizace poldrů v obci Bolatice [9]

3.3. Regulace odtoků z retenčních nádrží při povodni

Soustava retenčních nádrží je zaústěna do obecní kanalizační sítě, na niž je současně napojeno také obyvatelstvo. Majitelem je obec Bolatice, provozovatelem firma Technické služby Bolatice. Převládá kanalizace jednotná. V jižní části je gravitačně vyvedena na ČOV. Při povodni je voda z kanalizace odváděna obtokem do místního recipientu. Voda z poldrů má být do kanalizační sítě vypouštěna řízeným odtokem s ohledem na její kapacitní průtok. V opačném případě hrozí zaplavení přilehlého prostranství. Pro průtokové množství vypouštěné naakumulované vody z nádrží je třeba zohlednit celkovou sjednocenost protipovodňové ochrany. Při hydraulických výpočtech se bere v potaz přítomnost odpadních vod splaškových a vod dešťových svedených z intravilánu, aby byla respektována kapacita stokové sítě a zajištěno beztlaké proudění v kanalizaci [15], [16], [17].



Obr. 6 Umístění nového poldru v rámci DP na ZVHM [19]



4. Teoretické principy řešení daného problému

4.1. Legislativní principy řešení

Při navrhování SN a MVN je zapotřebí dodržovat závazné předpisy, mezi něž patří především zákony, vyhlášky, nařízení vlády a metodické pokyny. Ve většině případů se považuje za vhodné zohledňovat obsah platných norem, technických standardů a typizačních předpisů. Tyto materiály shrnují úroveň poznání dané problematiky [20].

Stavby pro protipovodňovou ochranu se považují za VD. Ochranné hráze, pobřežní hráze, ochranné zdi, mobilní zábrany apod. nevyžadují povolení k nakládání s povrchovými vodami. Další ochranná VD v podobě vodních nádrží, přehrad, úprav na vodním toku apod. však toto povolení vyžadují [21].

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách (vodní zákon)

„Účelem tohoto zákona je chránit povrchové a podzemní vody, stanovit podmínky pro hospodárné využívání vodních zdrojů a pro zachování i zlepšení jakosti povrchových a podzemních vod, vytvořit podmínky pro snižování nepříznivých účinků povodní a sucha a zajistit bezpečnost vodních děl v souladu s právem Evropských společenství. Účelem tohoto zákona je též přispívat k ochraně vodních ekosystémů a na nich přímo závisajících suchozemských ekosystémů [22].“

Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)

„Tento zákon upravuje ve věcech územního plánování zejména cíle a úkoly územního plánování, soustavu orgánů územního plánování, nástroje územního plánování, vyhodnocování vlivů na udržitelný rozvoj území, rozhodování v území, možnosti sloučení postupů podle tohoto zákona s postupy posuzování vlivů záměrů na životní prostředí, podmínky pro výstavbu, rozvoj území a pro přípravu veřejné infrastruktury, evidenci územně plánovací činnosti a kvalifikační požadavky pro územně plánovací činnost.

Tento zákon upravuje ve věcech stavebního řádu zejména povolování staveb a jejich změn, terénních úprav a zařízení, užívání a odstraňování staveb, dohled a zvláštní pravomoci stavebních úřadů, postavení a oprávnění autorizovaných inspektorů, soustavu stavebních úřadů, povinnosti a odpovědnost osob při přípravě a provádění staveb.

Tento zákon dále upravuje podmínky pro projektovou činnost a provádění staveb, obecné požadavky na výstavbu, účely vyvlastnění, vstupy na pozemky a do staveb, ochranu veřejných zájmů a některé další věci související s předmětem této právní úpravy [23].“

Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny

„Účelem zákona je za účasti příslušných krajů, obcí, vlastníků a správců pozemků přispět k udržení a obnově přírodní rovnováhy v krajině, k ochraně rozmanitostí forem života, přírodních hodnot a krás, k šetrnému hospodaření s přírodními zdroji a vytvořit v souladu s právem Evropských společenství v České republice soustavu Natura 2000. Přitom je nutno zohlednit hospodářské, sociální a kulturní potřeby obyvatel a regionální a místní poměry [24].“

ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže

„Tato norma platí pro navrhování, výstavbu, rekonstrukce a provoz vodních nádrží se sypanými hrázi, u kterých jsou splněny současně tyto podmínky:

- a) objem nádrže po hladinu ovladatelného prostoru (normální hladinu) není větší než 2 mil. m³;*
- b) největší hloubka nádrže nepřesahuje 9 m.*

Norma neplatí pro nádrže, u kterých je potenciální riziko ohrožení lidských životů při havárii nádrže.

Norma neplatí pro nádrže přečerpávacích vodních elektráren, pro odkaliště a pro nádrže s přítokem a odtokem propustným horninovým prostředím dna a svahů nádrže (např. štěrkoviště).

Norma se doporučuje i pro rekonstrukce historických rybníků, jejichž parametry překračují podmínky a) a b).

Pro nádrže s celkovým objemem menším než 5 tisíc m³ se doporučuje normu použít přiměřeně podle místních podmínek [25].“

4.2. Technické principy řešení

4.2.1. Dělení retenčních nádrží

Nádrže plní ochrannou funkci ohrožených oblastí a na nich vybudovaných objektů před nežádanými vlivy velkých vod. Má uměle nebo přirozeně vymezený retenční prostor, jenž se dále dělí na ovladatelný a neovladatelný [26].

- ✓ **Suché ochranné nádrže** - vymezují ochranný prostor, v němž je zachycována povodňová vlna. Obsah nádrže je regulovaným odtokem průběžně zcela vyprázdněn.
- ✓ **Ochranné nádrže s malým zásobním prostorem** – transformují povodňovou vlnu a po jejím průchodu řízeně vyprazdňují ochranný prostor po hladinu zásobního prostoru, který je využíván k dalším účelům.
- ✓ **Dešťové nádrže** - zachycují srážkové vody, krátkodobě je akumulují nebo jsou jiným způsobem podle místních potřeb využívány.
- ✓ **Protierozní nádrže** – snižují podélný sklon údolí, zachycují splaveniny, zvyšují půdní vlhkost v okolí nádrže a zvětšují množství podzemní vody.
- ✓ **Infiltrační nádrže** – slouží ke vsakování spadnuvších srážkových vod do podloží k nadlepšování zásob podzemní vody.
- ✓ **Nárazové nádrže** – vyrovnávají nárazové průtoky ve vzdálených profilech při řízení průtoku kompenzační nádrží [27].

4.2.2. Podklady pro návrh ochranné nádrže

Rozsah a podrobnost podkladů pro návrh MVN se odvíjí od důležitosti, funkce a složitosti okolních podmínek. Podceňování kvality zpracovávaných dokumentů, zejména v počátečních fázích řešení, může způsobit markantní zvýšení investičních nákladů, příp. omezení nebo zastavení projektu MVN.

Mapové a geodetické podklady

Mapové podklady mohou být k dispozici v digitální i papírové formě. Může se jednat o státní mapy (ZM-10, SM-10, SMO-5), účelové mapy (např. ZVHM), ortofotomapy,

mapy komplexního průzkumu zemědělských půd, mapy katastru nemovitostí a další. V současnosti jsou vybrané mapy dostupné prostřednictvím služby WMS (Web Map Service). Mapy jsou zpracovány v měřítcích 1:500 až 1:50 000 podle účelu [28].

Pro dokumentaci územního řízení, stavebního povolení a provádění stavby se pracuje s mapovými podklady vytvořenými detailním geodetickým zaměřením řešeného území. Zaměření je prováděno v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému Balt. Vrstevnice jsou zaměřeny ve výškách po 0,5 až 1,0 m. [20], [27].

Hydrologické a klimatické podklady

Pro návrh a vodohospodářské řešení nádrže musí být známy standardní hydrologické údaje ve smyslu ČSN 75 1400 (dlouhodobé průměrné roční průtoky, M-denní a N-leté průtoky, průměrné měsíční průtoky atd.) Dodatečné údaje jsou zvoleny podle účelu nádrže, kategorie VD a způsobu VH řešení. Dále jsou potřebné také data o objemech odtoků. Výskyt povodní a tvar povodňové vlny (hydrogram teoretické povodně) [29].

Ke klimatickým záznamům se řadí údaje o srážkách, výparu, teplotě, povětrnostních podmínkách a mrazových obdobích. Data jsou získávány od ČHMÚ nebo minimálně jsou jím ověřeny.

Inženýrsko-geologické, hydrogeologické a pedologické podklady

Geotechnické vlastnosti podložního materiálu mají značný vliv na bezpečnost a hospodárnost VD. V řadě případů se jedná o limitující faktor. Následkem nedostatečného průzkumu mohou být změny v projektu, prodražení stavby, provozní komplikace či dokonce naplněné katastrofické scénáře.

Hydrogeologický průzkum poskytuje informace o přítomnosti a režimu podzemních vod, podmínky infiltrace, vliv prosakující vody na podloží a stabilitu hráze. Průzkum je prováděn v místě nádrže, oblasti nádrže s přilehlým územím z důvodů abraze břehů, sesuvů, propustnosti dna a břehů nádrže. Dalším předmětem průzkumu je vytipování nalezišť materiálu pro výstavbu hráze (soudržné zeminy, štěrkopísky, kámen apod.).

Geologický průzkum se provádí kopanými sondami, jádrovými vrty, rýhami, průzkumnými štolami a šachtami. Informace o hladině podzemní vody je získatelná interpolací naměřených hodnot v sousedních průzkumných bodech [25], [30].

Další podklady

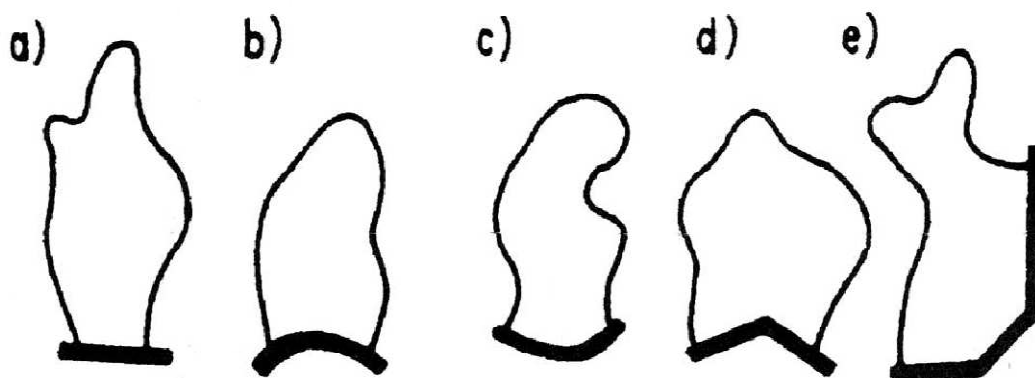
Pro projektovou dokumentaci se zpracovávají územně plánovací podklady, jež analyzují současný stav a vývoj území včetně možností a podmínek potencionálních změn. Vymezují podzemní a nadzemní vedení v navrhované lokalitě. Obsahují podklady o ochranných pásmech, koncepcie protipovodňové ochrany a vyjádření dotčených orgánů státní správy a dalších fyzických a právnických osob [20].

4.2.3. Návrh hráze

Konstrukce hráze vzdoruje svou vlastní tíhou účinkům statických a dynamických sil na ni působících. Účinky vnějších sil a vlastní tíhy přenáší na základovou spáru.

Výstavba hráze je komplexně stěžejní, nejnáročnější a nejdražší činností při realizaci nádrže. Důkladně se zvažuje její umístění, způsob založení, výběr stavebního materiálu a odvod prosakující vody.

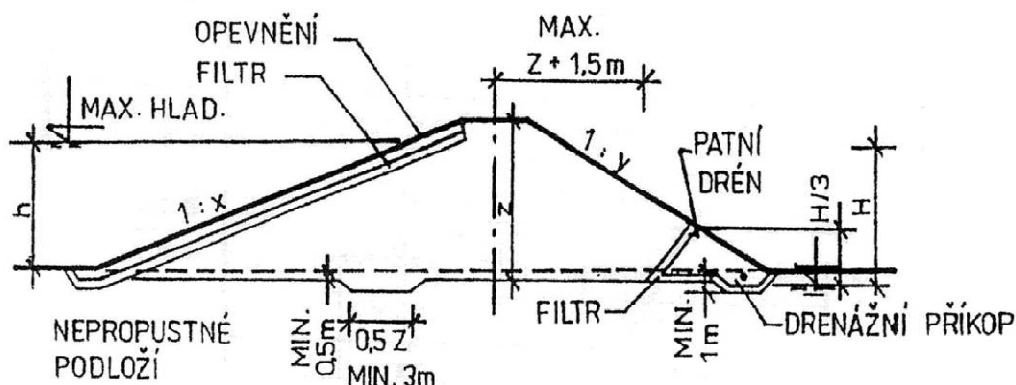
Podle reliéfu údolí a účelu nádrže se nádrže půdorysně rozdělují na čelní, boční, obvodové a dělící. Podle tvaru osy koruny hráze jsou rozlišovány na hráze přímé, zakřivené a lomené.



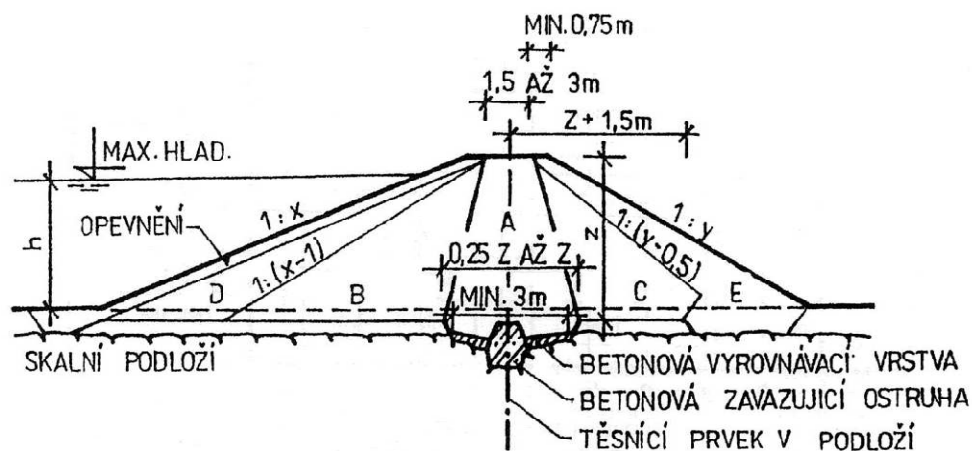
Obr. 7 Půdorysný tvar hrází: a) čelní přímá, b) čelní vypouklá, c) čelní vydutá, d) čelní lomená, e) nepravidelná [27]

Příčný profil hráze

Šířka koruny hráze bez trvalé komunikace je min. 3,5 m z důvodu umožnění průjezdu údržbářských a provozních vozidel. Je-li komunikace zavedena, odvozuje se šířka koruny hráze podle konstrukčních prvků dané komunikace.



Obr. 8 Homogenní hráz na nepropustném podloží [31]



Obr. 9 Nehomogenní hráz se středovým těsněním [31]

Stavební materiál

Hráze MVN jsou budovány jako zemní. Na základě geologického průzkumu se stanovuje zdroj zemin s vhodnými fyzikálně-mechanickými vlastnostmi v co nejbližším okolí nádrže. Případné vytěžení zemníku v zátopě zvětší objem zásobního prostoru nádrže. Vhodnost a klasifikace zemin je uvedena v aktuální verzi ČSN 75 2410, jež vychází z ČSN EN 1997-1 (731000) [32].

Požadavky na sypaniny a ostatní materiály pro stavbu hrází SN se obecně řídí ustanoveními ČSN 75 2310. Je potřebné vyloučit zeminy, jež jsou náchylné k vysychání a změnám fyzikálně mechanických vlastností při náhlých změnách polohy hladiny vody v nádrži [33].

Stavební materiál u *nehomogenní hráze* pro těsnicí část má být především nepropustný, obvykle jílovitý s obsahem organických látek maximálně do 5 % hmotnosti. Pro stabilizační část je vhodný materiál propustný i po dostatečném zhutnění, odolný vůči objemovým změnám následkem počasí a průsakových vod, neobsahující organické látky, jež by mohly v rozpuštěném stavu působit agresivně na betonové konstrukce funkčních objektů. Podle vlastností zvoleného materiálu se rovněž odvíjí navrhovaný sklon svahů vzdušního a návodního líce.

Pro výstavbu *homogenní hráze* je vhodná jílovito-písčítá zemina s obsahem písku 50 až 70 % a 30 až 50 % jílovitých částic. Přítomný písek zvyšuje propustnost vody, na druhé straně jíl zmenšuje úhel vnitřního tření a má vliv na promrzání. Kořeny a pařezy zakomponovány do tělesa hráze jsou nevhodné, neboť pracují jako konduktivní prostředek pro infiltrovanou vodu. Zemina dále neobsahuje organické látky [34].

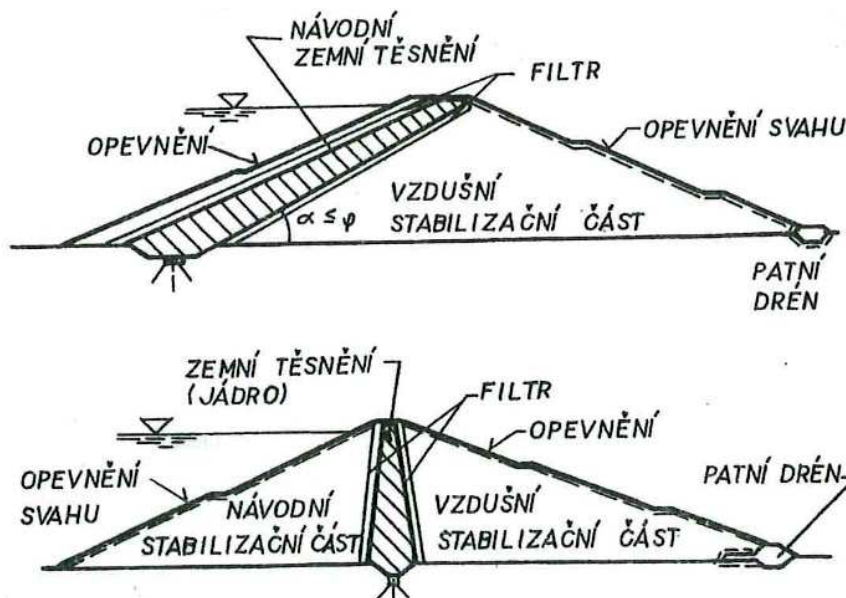
Prosakující voda může způsobovat filtrační deformace tělesa hráze, jimiž se rozumí změny ve struktuře a vlastnostech zeminy při překročení mezního stavu filtrační stability. Při jevu zvaném sufóza dochází u nestejnoměrné základní zeminy k vyplavení jemné frakce do sousedního hrubozrnného materiálu. Tento proces závisí na vlastnostech kontaktních nesoudržných zemin různé granulometrie. Důležitými faktory jsou zrnitost, tvary zrn, pórovitost, režim a směr proudění průsakové vody [20].

Těsnicí prvek hráze

Tělesa *nehomogenních zemních hrází* mají na rozdíl od hrází homogenních obsaženy více druhů zeminy. Použití těsnících, filtračních a drenážních vrstev umožňuje regulaci pohybu průsakové vody v tělese hráze. Návrh těsnících, ochranných a drenážních vrstev vyžaduje pozornost z důvodu jejich různých mechanických vlastností a odlišné technologie prováděcích prací oproti stabilizační části.

Šířka těsnicího prvku v koruně hráze je 1,5 m a ve spodní části tělesa hráze 3,0 m. Tloušťka předloženého návodního koberce je aspoň desetina hloubky vody v nádrži, přesto

má dosahovat tloušťky min. 0,6 m. V případě zavazovací ostruhy těsnícího prvku je účelné zavázat tuto část těsnění do stabilních vrstev nepropustných zemin do min. hloubky 0,5 m. Těsnění tvořené z umělých materiálů se zavazuje do podloží zpravidla betonovou zavazovací zídou [27].



Obr. 10 Zemní hráz s variantami umístění zemního těsnění [34]

Filtry

Slouží k ochraně tělesa hráze před vyplavováním částic stavebního materiálu. Filtry jsou navrhovány na styku těsnícího jádra se sousedními částmi hráze, kolem drenážních prvků, pod opevněním návodního svahu hráze a na styku tělesa hráze s podložím. Filtry jsou nejčastěji navrhovány z přírodních materiálů (tříděné či netříděné písky a šterkopísky) [27].

Patní drén

Plní funkci odvádění prosáklé vody hrází nebo jejím podložím. Je umístěn u paty vzdušního svahu hráze. Rozměry se přizpůsobují parametrům hráze a výpočtu průběhu depresní křivky. Těleso drénu je tvořeno silně propustným materiálem (hrubozrnný štěrk,

lomový kámen). Drenážní trubky umístěné v tělese patního drénu vyústěné do koryta pod hrází slouží k odvádění prosáknuté vody tělesem hráze [25], [27].

Opevnění líců hráze

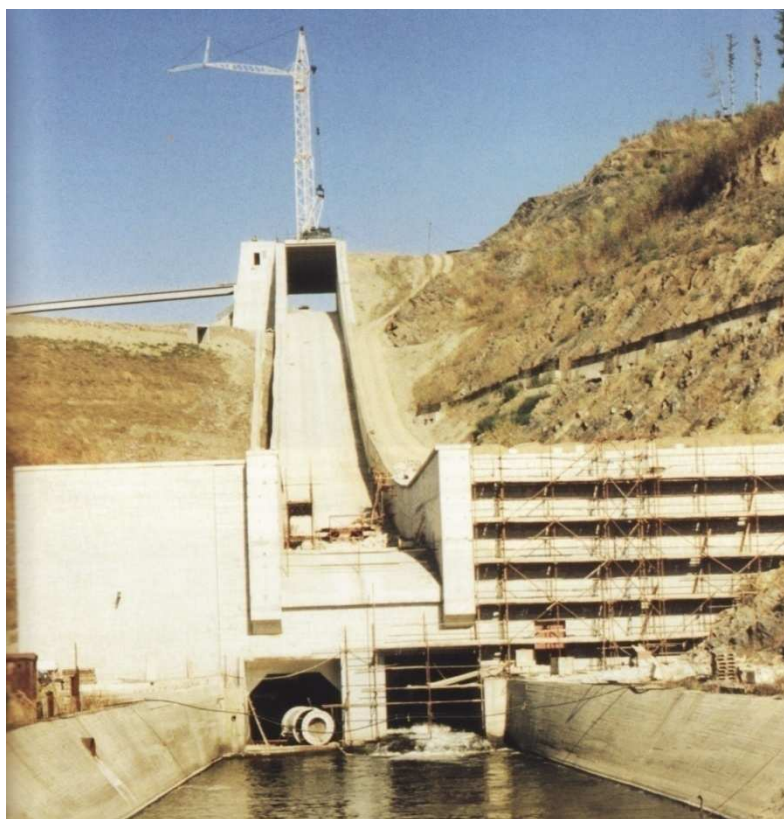
Návodní líc je opevňován od koruny hráze min. 0,8 m pod hladinu stálého nadržení. Opevnění musí být stabilní vůči tlakovým účinkům vytékající vody z tělesa hráze při poklesu hladiny vody v nádrži a proti usmyknutí po svahu. Dále musí být inertní proti agresivním účinkům akumulované vody.

U suchých retenčních nádrží, jež jsou plněny zřídka a na krátkou dobu, postačí zajistit opevnění správně provedeným a pravidelně udržovaným travním porostem.

Vzdušná líc je opevňován s ohledem na materiál vzdušné části hráze. Opevnění má splňovat ochrannou funkci před erozními účinky srážek a povětrnostních vlivů. Je aplikováno i na úžlabí mezi hrází a údolním svahem. Případná výsadba dřevnatého porostu zohledňuje přirozený vegetační stupeň. Porost nesmí bránit přístupu k hrázi, neovlivňuje stabilitu VD a funkci drénu [27].

Bezpečnostní přeliv

Slouží k ochraně nádrže před účinky povodňových průtoků. Chrání vlastní nádrž, hráz před poškozením přelitím a údolí pod nádrží před potencionálními škodami. Navrhují se na všech průtočných i neprůtočných nádržích. U neprůtočných nádrží postačuje návrh maximální průtočné kapacity BP a nápuštného zařízení jako recipročně shodný. U bezodtokých nádrží (tzv. nebeských) je možno BP vynechat. Přelivy MVN mají být nehrazené a bezobslužné. Tlakový odtok odpadním potrubím procházejícím hrází je nepřipustný. BP jsou dimenzovány u MVN na Q_{100} pro převedení návrhového kulminačního průtoku. U menších historických nádrží je možné volit návrhový průtok Q_{50} , min. však Q_{20} . Výška přepadového paprsku MVN je volena v rozmezí 0,3 až 0,6 m. BP mohou být umístěny v tělese hráze nebo mimo něj. BP dělí na přímé, boční, kašnové, šachtové a kombinované [31], [35].



Obr. 11 Příklad výstavby bezpečnostního přelivu se skluzem [36]

Výpustné zařízení

Slouží k udržení hladiny nadržení na potřebné výši a úplnému vypuštění nádrže. Je dimenzováno a konstruováno k bezpečnému vypouštění vody z nádrže za všech situací a v předpokládaném čase. Skládá se z uzavíracího prvku a zařízení pro odvedení vody. Doplnujícími objekty jsou zařízení pro tlumení kinetické energie vody (vývar, rozrážeč) a česlové stěny bránící zanesení výpusti a úniku ryb. Výpustné zařízení je obvykle umístěno v čele hráze, zpravidla do nejnižšího místa nádrže, pokud je geologická stavba podloží dostatečně únosná. Každá MVN je vybavena výpustným zařízením. Nádrže s objemem zásobního prostoru přesahujícím 1 mil. m³ mají být vybaveny dvěma výpustnými zařízeními. Výpusti se dělí na otevřené a trubní.

Otevřené výpusti jsou konstruovány z ŽB nebo kamenných žlabů, jejichž dno se rovná úrovni nejnižšího místa v nádrži. Stěny výpusti jsou budovány na celou výšku hráze. Je-li na koruně zřízena vozovka nebo pěší stezka, nad odpad se zřídí most nebo lávka podle typu komunikace. Horní hrana hradící konstrukce dosedající na dno žlabu odpovídá úrovni

hladiny zásobního prostoru. Hradícím prvkem může být stavidlo, segmentový nebo klapkový uzávěr. Z důvodu komplikované manipulace s uzávěry by neměly být otevřené výpusti používány v nádržích s hloubkou vody větší než 4,0 m.

Trubní výpusti se používají k vypouštění potrubím vedeným v nejnižším místě hráze. Uzávěr se přednostně umísťuje na návodní straně hráze z důvodu zabránění hydraulických tlaků v potrubí. Uzavírací mechanismy se dělí na lopatové, šikmé stavidlové, čepové, šoupátkové, stavidlové a plochá kanalizační šoupátka, segmentové, speciální uzávěry a požeráky [27], [31].



Obr. 12 Výpustná zařízení na hrázi Tři soutěsky v provincii Chu-pej, Čína [37]

Odpadní potrubí od výpusti je navrhováno k nejvyššímu možnému beztlakovému průtoku. Toho lze dosáhnout návrhem vhodného DN potrubí nebo provedením technických úprav v podobě zmenšení průtočného profilu na vtoku. Odpadního potrubí je vyráběno z betonových, ŽB a ocelových trub. V celé své délce je potrubí namáháno proměnným tlakem násypu hráze, což vyvolává nežádoucí jevy typu praskání trub a posunu ve spojích. Potrubí je uloženo na podkladovou betonovou desku a následně je obetonováno. Důležitým hlediskem stability je zajištění pružného napojení betonových požeráků na betonové odpadní potrubí. Zřizuje se jejich oddělením dilatační spárou a následným vložením pruhu gumy či jiného těsnícího prvku. Minimální rozměr výpusti je DN 300. Každá výpust disponuje aspoň jedním provozním uzávěrem umožňujícím regulaci průtoku a dalším revizním uzávěrem, který funguje jako záloha v případě výpadku uzávěru primárního.

Výpust suché nádrže nemusí být opatřena uzávěrem, není-li kapacita výpustného zařízení při max. hladině vyšší než je přípustný max. odtok vody v korytě pod nádrží [27], [31].

4.2.4. Původ povodní

Pojmem povodeň se označuje situace, při níž množství protékající vody překročí průtočné množství koryta toku nebo akumulární kapacitu nádrže. Při takovýchto událostech může být ohroženo ŽP včetně lidských životů, majetku a infrastruktury.

Spolehlivost protipovodňové ochrany spočívá v jejím dostačeném dimenzování, funkčnosti objektů a zařízení vybudovaných k dosažení navrhované ochrany. Co se týče ekonomické optimalizace je obdobná jako u jiných investic. Náklady na protipovodňová opatření se porovnávají s ekonomickým přínosem, vyplývajícím z ochrany. Do celospolečenských zájmu by však měla také spadat ochrana a revitalizace krajiny [38].

Lidská osídlení jsou ve světě umístěna v různých geografických podmínkách, čímž se vystavují různým příčinám záplavových rizik. Rozlišujeme dva základní druhy povodní podle místa výskytu:

1. *vnitrozemní*: jsou závislé na srážkovém úhrnu v lokálním a nadřazeném povodí;
2. *pobřežní*: jsou způsobeny mimořádnými jevy v oceánu (pohyb litosférických desek za vzniku Tsunami) a rovněž zásahem vnitrozemních povodní [39].

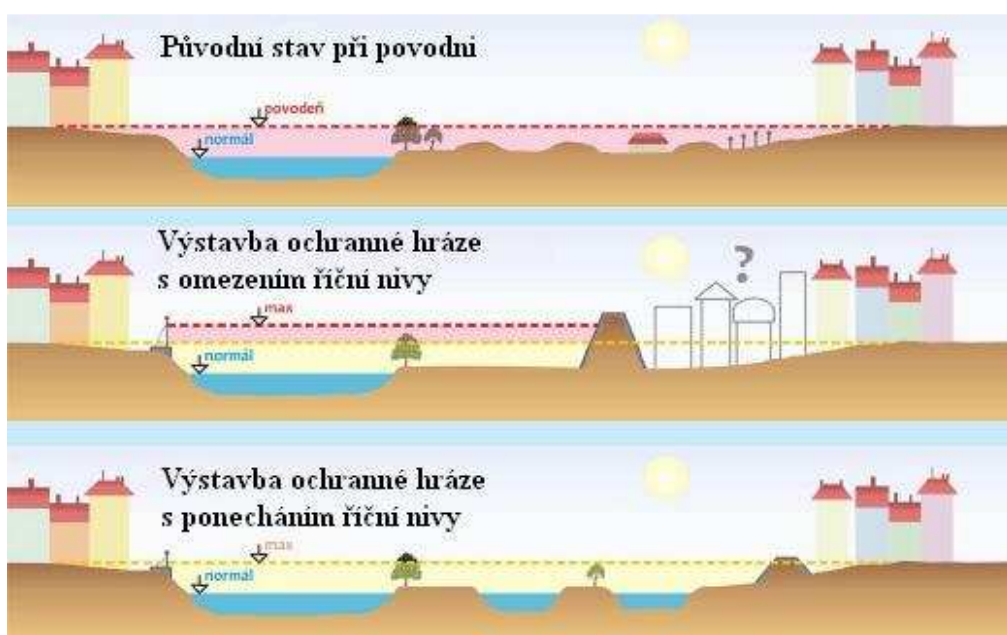
Další rozdělení spočívá v původu zapříčinění povodně. Z tohoto hlediska se dělí povodně na *přírodní* a *umělé*.

4.2.5. Přírodní povodně

Urbanizace původních zelených ploch negativně ovlivňuje schopnost retenční schopnosti půdy a vegetace. Intenzifikace využívání říčních údolí způsobila omezení říčních niv, čímž se původní přirozený rozliv stal pro člověka nežádaným. K utlumení nebezpečí povodní je vhodné zajistit nezastavěná inundační území proti budoucí urbanizaci, čímž se zachová rozliv z říčních koryt. Rozsah záplav tak bude dále po toku výrazně omezen. Dojde také k obnově mokřadů a lužních lesů, které jsou schopny zadržet velké množství vody. Z toho dále vyplývá další hledisko ochrany v podobě prevence

ve smyslu vytyčení záplavových území, jejich zanesení do povodňových plánů a legislativní zajištění omezení pro budoucí výstavbu.

Při tradičním plánování městských celků bývá nejdříve rozhodnuto o využití ploch a jejich povrchu a až posléze je VH pracovníkům zadán úkol vyřešení odvodňovacího systému. Voda má být přitom vnímána jako součást krajiny a musí být zahrnuta do územního plánování [40].



Obr. 13 Možnosti realizace protipovodňové ochrany intravilánu [41]

Příčiny přirozených povodní

Dlouhodobý vytrvalý déšť způsobuje nasycenost půdy srážkovou vodou. Důležitou podmínkou pro vsakování je propustnost půdy, horninových vrstev a úroveň hladiny podzemní vody. Propustnost zemin závisí na velikosti zrna, křivce zrnitosti a ulehlosti. U půd rovněž rozhoduje půdní struktura a teplota vody. Charakteristikou vsakovacího prostředí je součinitel propustnosti (koeficient filtrace) $k_f [m \cdot s^{-1}]$. Je-li podloží saturováno nebo má-li nízký k_f , začne docházet k povrchovému odtoku [42].

Přívalový déšť coby ohnisko bouřky a přeháněk se omezuje na poměrně malý prostor. Dochází k akutnímu zvýšení intenzity srážek na malém území, v jehož okolí jsou ve stejné době srážky minimální.

Tání sněhu je proces nejznatelnější v období jara. Pokud při oblevě zároveň prší, množství odtékající vody se načítá. Množství vody obsažené ve sněhové pokrývce závisí na charakteru sněhových krystalů a póru mezi nimi. Srážková voda absorbovaná sněhem přispívá k jeho tání důsledkem své vyšší teploty. Malé množství sněhu není schopno odolávat teplotním rozdílům dopadlé vody a při srážkách se zvětšuje pravděpodobnost vzniku povodní.

Ledochody jsou masy ledových ker pohybujících se ve směru proudění. Pokud tyto kry uváznou v mělčinách, zákrutách řek, prostoru BP u hráze, konstrukci mostu nebo jezu, vzniká nebezpečí mštnání ledu. Toto omezení v průtočném profilu může mít za následek lokální vzestup hladiny vody.

Absencí vegetačního pokryvu ztrácí krajina svou přirozenou retenční schopnost ve formě evapotranspirace, zlepšování propustnosti půdy a protierozních vlivů. Největší podíl infiltrace srážkové vody je zaznamenáván u letitých vzrostlých lesů [39], [41].

Změny klimatu jsou do velké míry spjaty se stále častěji se objevovanou otázkou globálního oteplování. Svědčí o tom záznamy o dlouhodobém celosvětovém měření teploty vzduchu v atmosféře. Od počátku 20. století stoupla průměrná teplota vzduchu o 0,6°C. Z toho teplotní difference 0,4°C je pozorována od roku 1970. Na základě těchto pozorování a dalších modelací usoudila Mezivládní rada pro klimatické změny, že klíčovým faktorem oteplování je zvyšování koncentrací skleníkových plynů. Následkem tohoto jevu může být větší četnost srážek v zimních měsících, vyšší intenzita a frekvence přívalových dešťů v letních měsících, pokles půdní vlhkosti a množství podzemní vody [43].

4.2.6. Zvláštní povodně

Tyto povodně jsou vyvolány vlivy jiného než přírodního původu. Uměle vyvolanými vlivy se rozumí technické závady při výstavbě nebo samotném provozu VD, jež mohou vzdouvat vodu. Povodně mohou nastat při protržení tělesa hráze, nefunkčnosti výpustného zařízení či nesprávného vyhodnocení nastalé kritické situace. Příčinou může být například selhání lidského faktoru, neočekávaná seizmická aktivita nebo válečný konflikt.

Odbornou činností vyhodnocování technického stavu VD, zejména z hlediska bezpečnostní a provozní spolehlivosti, předcházení jejich poruch a hledání nápravných opatření, se zabývá TBD. Právně vymezený systém TBD provází VD od úvodních studií a

projektových řešení přes celé období výstavby a provozování až do případného ukončení fungování díla [44].

Rozsah, způsob provádění a náležitosti TBD je stanoven podle kategorie, do níž je VD zařazeno. VD může spadat do jedné ze čtyř příslušných kategorií podle počtu ohrožených lidských životů a rozsahu škod při havárii. Do I. a II. kategorie většinou spadají VH významnější VD. Do III. a IV. kategorie jsou obvykle zařazeny MVN. Kategorizaci konkrétních VD může provádět pouze odborně způsobilé subjekty, k tomu pověřené MZe [45].

Vzhledem ke skutečnosti, že obecně může být MVN nebo SN zařazena do II. kategorie z hlediska TBD, je vhodné pro úplnost zohlednit ČSN 75 2340. Jedná se o základní technickou normu oboru přehradního stavitelství. Norma platí pro navrhování přehrad (hráze, bezpečnostní přelivy, výpusti, hydroenergetika díla apod.) a jejich vybavení [20], [46].

Pro zachování provozuschopnosti a bezpečnosti každého VD je zpracován provozní a manipulační řád. Řády z části obsahují obecné informace o správě a dohledu nad VD a informace týkající se vlastního vodní díla. Klíčová pasáž manipulačního řádu pojednává o manipulaci na VD za běžných i mimořádných situací a provádění bezpečnostních opatření. Náležitosti provozního řádu jsou obdobného charakteru. Jsou v nich uvedeny údaje a ukazatele nutné pro zajištění spolehlivého provozu VD, dále pokyny pro provoz, údržbu a obsluhu. Výpis požadovaných údajů těchto řádů je dán vyhláškou, jež se odkazuje na normy TNV 75 2910 Manipulační řády vodních děl na vodních tocích a TNV 75 2920 Provozní řád hydrotechnických vodních děl [47].

4.2.7. Zvládání povodňových rizik

Základním předpokladem zvládnutí krizové situace jsou zpracované povodňové plány vycházející z platných právních norem, jež jsou provozně a technicky realizovatelné. Jednou z podmínek fungování krizového plánu je patřičný výcvik a vedení evidence výcviku zainteresovaných osob. Pro trvalou aktualizaci mají být krizové plány jedenkrát ročně přezkoumány a dle potřeb revidovány [48].

Přípravná opatření

Stanovení záplavového území zpracováním potřebné dokumentace zajišťuje správce vodního toku. Obec je jedním z účastníků při vymezování směrodatných stupňů povodňové aktivity (SPA). Povodňový plán obce si obec zpracovává sama v souladu s povodňovými plány vlastníků pozemků a staveb, dále zajišťuje školení a funkčnost hlásné a hlídkové povodňové služby. Povodňový orgán obce realizuje minimálně jednou ročně povodňové prohlídky vodních děl a toků ve svém správním území. ČHMÚ ve spolupráci se státními podniky povodí informuje obec o rizikových předpovědích a varováních. Obec o události vyrozumí své obyvatelstvo a obec ležící níže po toku. Povodňový orgán obce má právo přikazovat vlastníkům pozemku a staveb vyklizení předmětů, jež mohou zhoršit odtokové poměry v toku. Povodňový orgán obce ve spolupráci se složkami IZS zajišťuje evakuaci obyvatelstva, jejich ubytování, stravování, základní hygienickou a zdravotní péči. Organizuje ochranu hospodářsky významného majetku [49], [50].

Opatření po povodni

Povodňový orgán obce eviduje a dokumentuje všechna svá rozhodnutí a přijatá opatření do povodňové knihy. Dále zpracovává zprávu o povodni, jež obsahuje rozbor příčin a průběhu povodně, posouzení účinnosti přijatých opatření, odhad způsobených škod a možnosti jejich odstranění. Obec zajistí maximální možnou obnovu území a odstranění škod [51].

4.2.8. Polutanty v nádržích

Splachy z agrárních oblastí se zvýšenou koncentrací hnojiv a pesticidů, dále z urbanizovaných ploch s přítomností těžkých kovů jsou gravitačně sváděny do vodních toků a nádrží. V nádržích, zejména se stálým nadržáním, mají tyto látky čas k tvorbě vodních květů a k zakomponování se v tělech vodních živočichů a ve dnovém sedimentu. Obecně lze považovat vytěžený dnový sediment za ekologicky závadný materiál [52].

S rozvojem chemického průmyslu ve 20. století roste intenzita využívání organických a minerálních hnojiv. Fosfor a dusík jsou základními biogenními prvky pro existenci organismů. Amoniakální dusík obsažený v půdě je oxidačním procesem

konvertován na dusičnan. Dusík je většinou v dusičnanové podobě při dešťovém období z půdy vyplavován. Dusičnany jsou oproti fosforu mnohem lépe ve vodě rozpustné, čímž vzniká riziko kontaminace podzemních vod. Fosfor má tendenci přilnutí na pevnou částici. Splachy je tak transportován ve formě erozního smyvu [52], [53].

Užívání pesticidů v zemědělství je dnes rovněž rutinní záležitostí. Vedlejšími účinky těchto přípravků jsou kontaminace zeminy, vody, vzduchu a následné toxické účinky na organismy. Míra znečištění je závislá na koncentraci znečišťující látky a hydrochemických podmínkách (pH, teplota, redox potenciál, povrchová aktivita). Vysoce karcinogenní pesticidy typu DDT, dieldrin a chlornan byly z trhu staženy, nicméně jsou stále identifikovatelné v potravinovém řetězci [54], [55].

Počátkem 20. Století bylo ve světě vytvořeno přes 60 druhů vysoce výbušných sloučenin. Jejich testováním a vyvíjením došlo ve vládami vymezených prostorách k silné kontaminaci zemin, sedimentů a vodního prostředí zbytkovými toxickými látkami. Na konci Studené války se USA, Sovětský svaz, Čínská lidová republika a jejich spojenci zbavovaly přebytečného množství konvenčních i jaderných zbraní, což mělo za následek přímé zasažení ŽP. Do krajiny se tak dostávaly látky vysoce toxické a mutagenní. Přesné složení munice a jí způsobené znečištění však bývá před veřejností utajeno [56].

4.2.9. Suché nádrže

SN jsou zvláštní variantou vodních nádrží, jejichž VH funkcí je zásadně protipovodňová ochrana. Za běžných průtokových podmínek je nádrž prázdná a může se zemědělsky využívat. Za SN se považují i nádrže s částečným zanedbatelným stálým nadržením vody, jež plní krajínotvornou funkci. V současné praxi se při návrhu SN používá ČSN 75 2410 – Malé vodní nádrže. VH řešení, konstrukční požadavky a provozní nároky se u SN mohou individuálně lišit od jiných vodních nádrží.

Do určitého přítoku do nádrže může voda plynule odcházet spodní výpusti v tělese hráze bez projevu její akumulace v nádrži. Za větších průtoků přesahujících kapacitu spodních výpustí, dochází k plnění retenčního prostoru poldru. V případě zaplnění retenčního prostoru nádrže započne objem nádrže přetékat pomocí BP, jenž zabraňuje překročení maximální přípustné úrovně hladiny v nádrži. Po odeznění zvýšeného přítoku do nádrže voda odtéká spodní výpustí [57].

5. Návrh možných variant řešení, výběr vhodné varianty a její následné rozpracování

Navrhovaný suchý poldr se nachází na jihozápadním okraji obce (obr. 6). Nádrž je vymezena přirozeným táhlým údolím a hrází vybudovanou na východním konci údolí. Odtok z nádrže bude gravitačně sveden do vodoteče Opusta v její pramenné části. Návrh nového poldru je vytvořen s ohledem na budoucí územní rozvoj obce. Oblast pod navrhovanou hrází je v současnosti nezastavěná a má charakter zemědělské půdy. Zájmy správy obce se soustřeďují kromě zemědělství na podporu a rozvoj malopodnikatelů, lehkého průmyslu a zvládání průběžného populačního přírůstku obyvatel. Chráněná plocha pod hrází v okolí místní komunikace Na Panské cestě je snadno dostupná a jeví se vhodně pro zřízení stavebních parcel.

5.1. Varianta A

První varianta řešení se zabývá návrhem suchého poldru s dostatečnou kapacitou retenčního prostoru pro zachycení srážek s dobou trvání 15 min a intenzitou vyskytující se až jednou za sto let (tab. 4). Periodicita $n=0,01$ byla odvozena na základě míry nárůstu srážkových intenzit uvedených v okolních oblastech [7].

Výpočet množství vody v závěrném profilu [58]

Ke vhodnému navržení parametrů hráze vymezující akumulací prostor nádrže je potřeba znát množství vody do ní přitékané. Byl proto zjištěn druh, sklon a rozloha terénu vymezeného povodí.

Pro níže uvedený vzorový výpočet byl uvažován 15 min déšť s periodicitou $n = 0,5$ (2-letý déšť). Pro Opavsko dosahuje hodnoty $147 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$ [7].

Odvodňovaná plocha byla vyměřena podle vodohospodářské mapy Hydroekologického informačního systému (obr.6).

Celková plocha povodí je $S = 97,06 \text{ ha}$ a je tvořena:

- Ornou půdou o výměře $S_1 = 88,82 \text{ ha}$ (91,5 %) a sklonem nad 5 %
- Lesnatým porostem o výměře $S_2 = 3,35 \text{ ha}$ (3,5 %) a sklonem nad 5 %
- Zastavěné plochy o výměře $S_3 = 4,89 \text{ ha}$ (5,0) a sklonem nad 5 %

Tab. 5 Součinitelé odtoku podle druhu a sklonu terénu [59]

| Způsob zástavby a druh pozemku popř. druh úpravy povrchu | Součinitel odtoku ψ při konfiguraci území | | |
|---|---|-----------------------------------|--|
| | Rovinné při sklonu do 1 % | Svažité při sklonu 1 až 5 % | prudce svažité při sklonu nad 5 % |
| Zelené pásy, pole, louky | 0,05 | 0,10 | 0,15 |
| Lesy | 0,00 | 0,05 | 0,10 |
| Asfaltové a betonové vozovky | 0,70 | 0,80 | 0,90 |
| Zastavěné plochy (střechy) | 0,90 | 0,90 | 0,90 |

Střední součinitel odtoku ψ

$$\psi = \frac{S_1 \cdot \psi_1 + S_2 \cdot \psi_2 + S_3 \cdot \psi_3}{S} = \frac{88,82 \cdot 0,15 + 3,35 \cdot 0,10 + 4,89 \cdot 0,90}{97,06} = 0,186 \quad (1)$$

kde Ψ střední součinitel odtoku,
 Ψ_n součinitel odtoku,
 S_n dílčí plocha povodí [m^2],
 S celková plocha povodí [m^2].

Redukovaná plocha S_c

$$S_c = S \cdot \psi = 97,06 \cdot 0,186 = 18,06 \text{ ha} \quad (2)$$

kde S_c redukovaná plocha povodí [ha],
 S celková plocha povodí [m^2],
 Ψ střední součinitel odtoku.

Průtok v závěrném profilu Q

$$Q = S_c \cdot i \cdot 10^{-3} = 18,06 \cdot 147 \cdot 10^{-3} = 2,65 \text{ m}^3 \cdot s^{-1} \quad (3)$$

kde Q průtok v závěrném profilu [$m^3 \cdot s^{-1}$],
 S_c redukovaná plocha povodí [ha],
 i intenzita deště [$l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$].

Objemové množství uvažovaného N-letého deště

$$V = t \cdot i \cdot S_c \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 15 \cdot 147 \cdot 18,06 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 2388 \text{ m}^3 \quad (4)$$

- kde V Objem uvažovaného typu srážek [m^3],
 t doba trvání deště [min],
 i intenzita deště při $n = 0,5$ [$\text{l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$],
 S_c redukována plocha povodí [ha].

Tab. 6 Objemy N -letých dešťů

| Doba trvání [min] | Periodicita deště | Intenzita deště [$\text{l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$] | Redukovaná plocha S_c [m^2] | Dešťový průtok Q [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$] | Objem srážek [m^3] |
|-------------------|-------------------|--|--|---|-------------------------------|
| 15 | 1 | 117 | 18,06 | 2,11 | 1901 |
| 15 | 0,5 | 147 | 18,06 | 2,65 | 2388 |
| 15 | 0,2 | 188 | 18,06 | 3,39 | 3055 |
| 15 | 0,1 | 220 | 18,06 | 3,97 | 3575 |
| 15 | 0,05 | 253 | 18,06 | 4,57 | 4111 |
| 15 | 0,01 | 324 | 18,06 | 5,85 | 5265 |

Tab. 7 Transformace povodňové vlny pro Q_{100}

| T [hod] | Přítok do poldru Q_{100} [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$] | Odtok z poldru Q_{kap} [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$] | Objem vody z přítoku V_p [m^3] | Povodňová vlna $\sum V_p$ [m^3] | Objem odtoku (DN 400) V_o [m^3] | Součet odtoků $\sum V_o$ [m^3] | Velikost akumulace V_A [m^3] |
|---|---|--|---|--|--|---|---|
| 0 | 0,047 | 0,047 | 168 | 168 | 168 | 168 | 0 |
| 1 | 0,585 | 0,240 | 2 106 | 2 274 | 699 | 867 | 1 407 |
| 2 | 2,340 | 0,240 | 8 424 | 10 698 | 864 | 1 731 | 8 967 |
| 3 | 4,973 | 0,240 | 17 901 | 28 599 | 864 | 2 595 | 26 004 |
| 4 | 5,850 | 0,240 | 21 060 | 49 659 | 864 | 3 459 | 46 200 |
| 5 | 4,563 | 0,240 | 16 427 | 66 086 | 864 | 4 323 | 61 763 |
| 6 | 2,808 | 0,240 | 10 109 | 76 195 | 864 | 5 187 | 71 008 |
| 7 | 1,346 | 0,240 | 4 844 | 81 039 | 864 | 6 051 | 74 987 |
| 8 | 0,527 | 0,240 | 1 895 | 82 934 | 864 | 6 915 | 76 019 |
| 9 | 0,176 | 0,240 | 632 | 83 566 | 864 | 7 779 | 75 787 |
| 10 | 0,040 | 0,240 | 144 | 83 710 | 864 | 8 643 | 75 067 |
| 11 | 0,000 | 0,240 | 0 | 83 710 | 864 | 9 507 | 74 203 |
| Potřebná velikost akumulace V_a [m^3] | | | | | | | 77 000 |
| Doba plnění nádrže [hod] | | | | | | | 8 |
| Doba prázdnění [hod] | | | | | | | 88 |

Tab. 8 Parametry hráze varianty A

| | |
|--|-----------------------|
| Kóta koruny hráze | 259,5 m n. m. |
| Délka koruny hráze | 168,2 m |
| Maximální výška hráze | 5,5 m |
| Objem ovladatelného retenčního prostoru | 85 332 m ³ |
| Kóta hladiny ovladatelného retenčního prostoru | 258,5 m n. m. |
| Kóta maximální hladiny neovladatelného prostoru | 259,0 m n. m. |

5.2. Varianta B

Celý prostor povodí navrhované nádrže spadá do povodí vodního toku Opusta. Z hydrologických dat poskytnutých na vyžádání ČHMÚ bylo zjištěno, že N-leté průtoky na Opustě, měřené v pramenné části na profilu před propustkem pod komunikací Na Panské cestě, dosahují menších hodnot než teoreticky vypočítané. Povodí nádrže zaujímá 50 % povodí Opusty (povodí toku od pramene k měřenému profilu). Povrch a sklon terénu povodí je v celé pramenné části obdobný. Data ČHMÚ jsou aktuální a spolehlivá. Na základě těchto poznatků byl suchý poldr varianty B navrhován podle vstupních dat ČHMÚ a zvolen jako nejvhodnější variantou řešení.

Tab. 9 N-leté průtoky v závěrných profilech

| N | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Opusta $Q_N [m^3 \cdot s^{-1}]$ | 0,630 | 0,930 | 1,430 | 1,880 | 2,400 | 3,180 | 3,860 |
| Poldr $Q_N [m^3 \cdot s^{-1}]$ | 0,317 | 0,468 | 0,719 | 0,946 | 1,207 | 1,600 | 1,942 |

5.2.1. Charakteristiky nádrže

Objem nádrže [27]

Výpočet objemu nádrže byl proveden zaměřením ploch odpovídajících vrstevnicím výškově od sebe vzdálených 0,5 m od nejnižšího místa nádrže až po korunu hráze. Plochy jednotlivých hladin byly zjištěny z podrobné situace v měřítku 1:1000 (Příloha č.1).

$$V_i = 0,5 \cdot (S_i + S_{i+1}) \cdot \Delta h \quad (5)$$

kde V_i dílčí objem mezi dvěma sousedními vrstevnicemi [m^3],

S_i, S_{i+1} plochy sousedních vrstevnic [m^2],

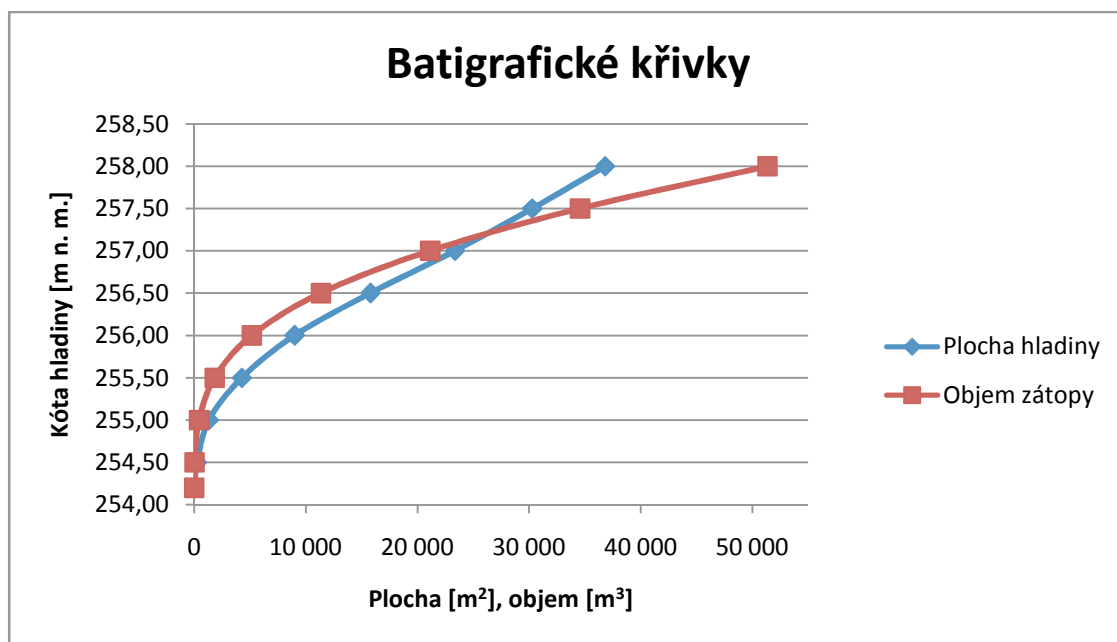
Δh výškový rozdíl mezi sousedními vrstevnicemi [m].

Tab. 10 Výpočet objemu nádrže [27]

| Kóta hladiny [m n. m.] | Δh [m] | S_i [m^2] | $0,5 \cdot (S_i + S_{i+1})$ [m^2] | V_i [m^3] | ΣV [m^3] |
|---------------------------|-------------------|---------------------------|---|---------------------------|--------------------------------|
| 254,20 | 0,00 | 0 | - | - | 0 |
| 254,50 | 0,30 | 264 | 132 | 40 | 40 |
| 255,00 | 0,50 | 1318 | 791 | 396 | 435 |
| 255,50 | 0,50 | 4272 | 2795 | 1397 | 1833 |
| 256,00 | 0,50 | 9025 | 6649 | 3324 | 5157 |
| 256,50 | 0,50 | 15796 | 12411 | 6205 | 11362 |
| 257,00 | 0,50 | 23368 | 19582 | 9791 | 21153 |
| 257,50 | 0,50 | 30296 | 26832 | 13416 | 34569 |
| 258,00 | 0,50 | 36825 | 33561 | 16780 | 51350 |

Batigrafické křivky

Tvarové a objemové vlastnosti nádrže nám vyjadřují tzv. batigrafické křivky. Znázorňují objem akumulované vody a plochu zátopy v jednotlivých výškách hladiny nadržení.



Graf 2 Charakteristické čáry nádrže



Obr. 14 Východní pohled na prostor poldru [60]

5.2.2. Transformace povodňové vlny

K úspěšnému zachycení zvýšených průtoků je potřeba navrhnout dostatečný akumulací prostor nádrže. Maximální přítok do nádrže je z hlediska protáhlého tvaru

údolí a charakteristiky terénu předpokládán na čtvrtou hodinu po započetí zvýšené intenzity srážek. Suchý poldr je dimenzován k zachycení až stoletých průtoků. Podle zjištěného maximálního objemu nádrže byla pomocí batigrafických křivek odvozena výška koruny hráze. Průběh akumulace v nádrži analyzuje následující výpočet.

Výpočet průběhu transformace povodňové vlny

Tab. 11 Průběh transformace povodňové vlny při Q_{100}

| T [hod] | Přítok do poldru Q_{100} [m ³ .s ⁻¹] | Odtok z poldru Q_{kap} [m ³ .s ⁻¹] | Objem vody z přítoku V_p [m ³] | Povodňová vlna $\sum V_p$ [m ³] | Objem odtoku (DN 400) V_o [m ³] | Součet odtoků $\sum V_o$ [m ³] | Velikost akumulace V_A [m ³] |
|---|---|---|---|---|--|--|--|
| 0 | 0,016 | 0,016 | 56 | 56 | 56 | 56 | 0 |
| 1 | 0,194 | 0,240 | 699 | 755 | 699 | 755 | 0 |
| 2 | 0,777 | 0,240 | 2 796 | 3 552 | 864 | 1 619 | 1 933 |
| 3 | 1,651 | 0,240 | 5 943 | 9 494 | 864 | 2 483 | 7 011 |
| 4 | 1,942 | 0,240 | 6 991 | 16 485 | 864 | 3 347 | 13 138 |
| 5 | 1,515 | 0,240 | 5 453 | 21 938 | 864 | 4 211 | 17 727 |
| 6 | 0,932 | 0,240 | 3 356 | 25 294 | 864 | 5 075 | 20 219 |
| 7 | 0,447 | 0,240 | 1 608 | 26 902 | 864 | 5 939 | 20 963 |
| 8 | 0,175 | 0,240 | 629 | 27 531 | 864 | 6 803 | 20 728 |
| 9 | 0,058 | 0,240 | 210 | 27 741 | 864 | 7 667 | 20 074 |
| 10 | 0,040 | 0,240 | 144 | 27 885 | 864 | 8 531 | 19 354 |
| 11 | 0,000 | 0,240 | 0 | 27 885 | 864 | 9 395 | 18 490 |
| Potřebná velikost akumulace V_a [m ³] | | | | | | | 21 000 |
| Doba plnění nádrže [hod] | | | | | | | 8 |
| Doba prázdnění [hod] | | | | | | | 24 |

Sloupec 1 (Čas v hodinových intervalech)

Sloupec 2 (Přítok do poldru) = Data ČHMÚ

Sloupec 3 (Odtok odpadním potrubím DN 400) = Kapacitní průtok při sklonu 15 ‰ je 0,240 m³.s⁻¹ [61].

Sloupec 4 (Objem přitečené vody za hodinu) = Sloupec 2 * 3600

Sloupec 5 (Sčítání hodinových přitečených objemů)

Sloupec 6 (Objemový odtok odpadním potrubím za hodinu) = Sloupec 3 * 3600

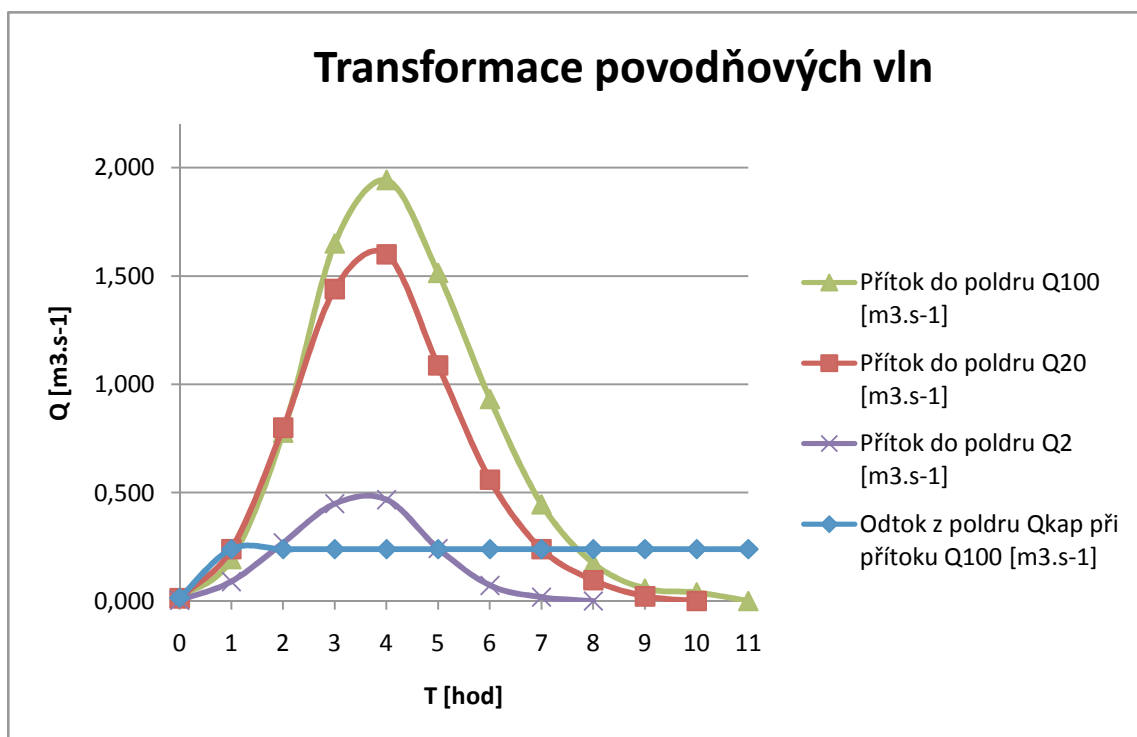
Sloupec 7 (Sčítání hodinových odečených objemů)

Sloupec 8 (Objem akumulované vody v čase)

Stejným způsobem byly zpracovány transformace povodňových vln Q_2 a Q_{20} .

Průběhy vypočítaných transformací jsou uvedeny v následujícím grafu.

Pozn.: Odtok z nádrže je pro lepší přehlednost uveden pouze pro přítok Q_{100} .



Graf 3 Transformace povodňových vln

5.2.3. Návrh hráze

Z hlediska lepší finanční dostupnosti, nepravidelného využívání ochranné funkce suché nádrže a zvolení stejného typu hráze v okolních poldrech byla pro návrh zvolena homogenní zemní hráz. Dno nádrže bude vyspádováno takovým způsobem, aby byl veškerý povrchový odtok sveden do funkčního objektu hráze.

Těleso hráze bude uloženo v urovnané a zhuťné základové spáře v hloubce 0,5 m. Sejmutá humózní vrstva byla stanovena na 1052 m^3 . Zemina bude použita na ohumusování povrchu tělesa hráze v tl. 10 cm. Hráz bude následně poseta travním osivem. Zbývající část zeminy bude rozhrnuta po přilehlých pozemcích.

Voda zachycená v základové spáře musí být před navážením první vrstvy sypaniny odstraněna. Přitékající voda bude odváděna mimo prostor tělesa hráze vhodným drenážním opatřením.

Tab. 12 Parametry homogenní hráze

| | |
|---|-----------------------|
| Kóta koruny hráze | 258,0 m n. m. |
| Délka koruny hráze | 129,2 m |
| Šířka koruny hráze | 3,5 m |
| Maximální výška hráze | 4,54 m |
| Objem ovladatelného retenčního prostoru | 21 153 m ³ |
| Maximální objem s neovladatelným prostorem při Q₁₀₀ | 34 569 m ³ |
| Výška hladiny ovladatelného retenčního prostoru | 257,0 m n. m. |
| Výška maximální hladiny neovladatelného prostoru | 257,5 m n. m. |
| Sklon návodního líce | 1 : 2,5 |
| Sklon vzdušního líce | 1 : 3 |

5.2.4. Materiál hráze

Zvolený materiál pro výstavbu tělesa hráze je klasifikován jako písčité a jemnozrnná zemina. Stavební materiál bude zajištěn z oblastních zdrojů. Materiál bude sypán ve vrstvách o mocnosti 20 cm. Jednotlivé vrstvy budou hutněny nejméně na 95 % objemové hmotnosti sušiny. Rozmezí přijatelných vlhkostí pro vhodné zhutnění se stanoví zkouškou tak, aby po zhutnění nebylo v zemině více než 10 % vzduchových pórů [25].

Tab. 13 Vlastnosti vybraných zemín [25]

| Název zeminy | Štěrk jílovitý | Hlína písčité |
|--|--|---------------|
| Symbol | GC | MS |
| Obsah jemnozrné frakce (< 0,06 mm) [%] | 15 až 35 | 35 až 65 |
| Filtrační součinitel K [m.s⁻¹] | 1.10 ⁻⁴ až 1.10 ⁻⁹ | - |
| Vhodnost zeminy pro výstavbu hráze | výborná | vhodná |

5.2.5. Vzdušní a návodní líc

Na základě doporučení normy ČSN 75 2410 o orientačních sklonech byl zvolen sklon návodního líce 1:2,5 a vzdušního líce 1:3. Navrhovaný poldr bude plněn pouze za povodní a na krátkou dobu. Z tohoto důvodu se jeví opevnění svahů travním porostem jako dostačující a bude zachován vegetační stupeň vzhledem k okolí nádrže. Porost bude zaset na 10 cm hrubé humózní vrstvě a bude potřeba pravidelného kosení pro usnadnění budoucí kontrolní činnosti na tělese hráze. Na počátku návodního líce bude vybudována patka z lomového kamene.

5.2.6. Patní drén

Jen navržen k odvádění prosáknuté vody tělesem hráze. Perforovaná drenážní PE trubka DN 200 je vedena pod patou vzdušního líce. Trubka je umístěna v drenážním příkopu a je obsypána lomovým kamenem. Návrh byl proveden podle zásad normy ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže. Přesný teoretický průběh průsakové křivky nebyl podložen výpočtem z důvodu absence stálého nadržení v nádrži.

5.2.7. Bezpečnostní přeliv

Přímý BP je navržen jako nehrazený a nebude vyžadovat obsluhu při průchodu povodňové vlny. Přelivná hrana BP se nachází ve výšce 257,00 m n. m. V případě, že kulminační přítok nepřekročí hodnotu $Q_{100}=1,942 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ nebo nedojde-li k poruše na výpustném zařízení, nebude potřebný nouzový přepad přes BP. Podle výpočtu by měl BP zajistit převod Q_{100} při výšce hladiny v BP 0,5 m. Pro lepší dostupnost techniky budou jeho svahy vybudovány ve sklonu 1:5. BP bude včetně připojeného koryta opevněn zatravnovacími dlaždicemi. Koryto bude u paty hráze na vzdušní straně vybaveno vývarem.

Výpočet přelivné hrany bezpečnostního přelivu [62]

Pro výpočet délky přelivné hrany se nejprve vyjádří Bazinův součinitel přepadu m :

$$m = \left(0,405 + \frac{0,003}{h} \right) \cdot \left[1 + 0,55 \cdot \left(\frac{h}{h+s} \right)^2 \right] \quad (6)$$

$$m = \left(0,405 + \frac{0,003}{0,5} \right) \cdot \left[1 + 0,55 \cdot \left(\frac{0,5}{0,5+2,35} \right)^2 \right] = 0,418$$

kde m součinitel přepadu,
 h výška hladiny nad přelivnou hranou při návrhovém průtoku (Q_{100}) [m],
 s výška přelivné hrany [m].

Vypočítaný součinitel přepadu m odpovídá tabelární hodnotě uvedené v literatuře [61].

Ze vzorce pro výpočet průtoku přes korunu přelivu se vyjádří b [27]:

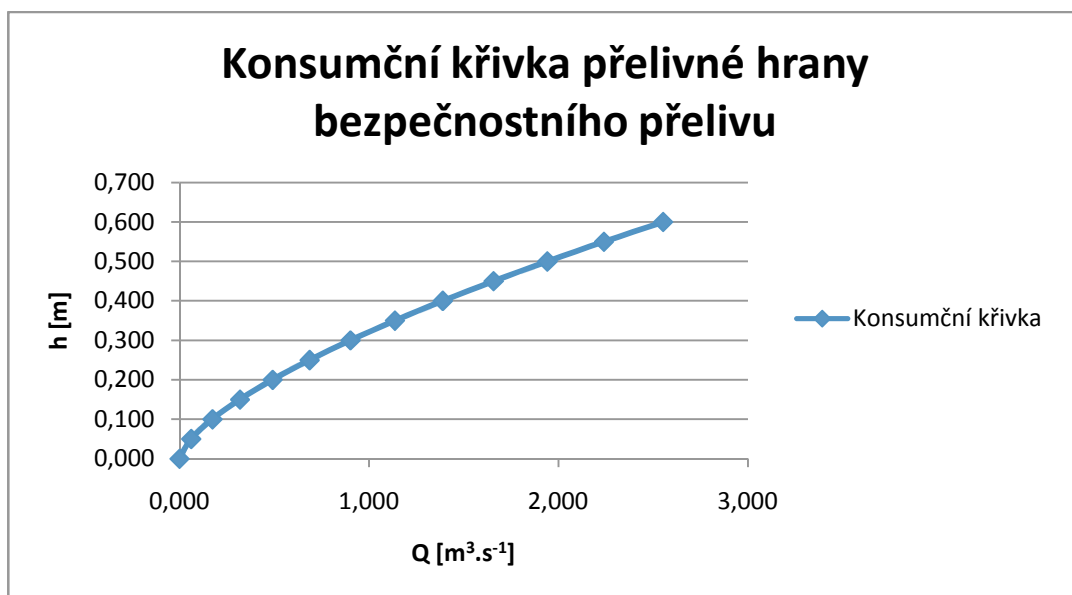
$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2} \quad (7)$$

$$b = \frac{Q}{\sqrt{2g} \cdot m \cdot h^{3/2}} = \frac{1,942}{4,43 \cdot 0,418 \cdot 0,5^{3/2}} = 2,97 \text{ m} \quad (8)$$

kde Q návrhový kulminační průtok (Q_{100}) [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
 b délka přelivné hrany [m],

Tab. 14 Velikost průtoků u různých výšek přelivného paprsku

| | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| h (m) | 0,050 | 0,100 | 0,150 | 0,200 | 0,250 | 0,300 |
| Q (m³/s) | 0,062 | 0,174 | 0,320 | 0,492 | 0,688 | 0,904 |
| h (m) | 0,350 | 0,400 | 0,450 | 0,500 | 0,550 | 0,600 |
| Q (m³/s) | 1,139 | 1,392 | 1,661 | 1,945 | 2,244 | 2,557 |



Graf 4 Konsumční křivka přelivné hrany bezpečnostního přelivu

5.2.8. Výpustné zařízení

Odpadní potrubí bude betonové s kruhovým profilem DN 400. Bude uloženo v nejnižším místě nádrže kolmo na korunu hráze na betonovou podkladovou desku tl. 20 cm. Potrubí bude dlouhé 26 m ve sklonu 15‰. Na vzdušné straně bude zakončen vývarem. Kapacitní průtok dosahuje $Q_{\text{kap}}=240 \text{ l.s}^{-1}$ a rychlosti proudění $v=1,907 \text{ m.s}^{-1}$. Potrubí bude chráněno před tížnými účinky hráze a vody v nádrži ochranným obetonováním.

Pro zachování beztlakového prostředí v potrubí bude hlavní uzávěr osazen na návodní straně hráze. Zvolené vřetenové šoupátko se skládá z ocelového rámu, konzoly a vřetena ukončeného hřídelí. Vřetenem se bude měnit poloha srdce šoupátka k uzavírání nebo otevírání výpustného otvoru v rámu. Těsnění šoupátka bude provedeno z profilované gumy EPDM.

Funkci nouzového uzávěru bude plnit betonový požerák skříňové konstrukce s dlužovou stěnou osazenou v drážkách uvnitř požeráku. Výška šachty dosahuje výšky koruny hráze. Konstrukce bude uložena na betonovou základovou desku tl. 60 cm. Prostor šachty bude zpřístupněn litinovými stupadly. Napojení odpadního potrubí na konstrukci požeráku bude vyplněno těsnící gumou.

Kontrolní výpočet beztlakého proudění v potrubí [63]

Plocha průtočného profilu

$$S = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{0,4^2}{4} = 0,126 \text{ m}^2 \quad (9)$$

kde S průtočná plocha [m²],
d vnitřní průměr potrubí [m].

Hydraulický poloměr

$$R = \frac{S}{O} = \frac{\pi \cdot \frac{d^2}{4}}{\pi \cdot d} = \frac{3,14 \cdot \frac{0,4^2}{4}}{3,14 \cdot 0,4} = 0,1 \text{ m} \quad (10)$$

kde R hydraulický poloměr [m],
O omočený obvod [m].

Rychlostní součinitel

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^P = \frac{1}{0,014} \cdot 0,1^{0,161} = 49,25 \text{ m}^{0,5} \cdot \text{s}^{-1} \quad (11)$$

Výpočet P podle Pavlovského:

$$P = 2,5 \cdot \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R} \cdot (\sqrt{n} - 0,1) \quad (12)$$
$$P = 2,5 \cdot \sqrt{0,014} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{0,1} \cdot (\sqrt{0,014} - 0,1) = 0,161$$

kde C rychlostní součinitel [m^{0,5}·s⁻¹],
n součinitel drsnosti (betonové potrubí).

Střední průtoková rychlost

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot I} = 49,25 \cdot \sqrt{0,1 \cdot 0,015} = 1,91 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (13)$$

kde v střední průtoková rychlost [m·s⁻¹],
I sklon uložení potrubí v promilách násobený 10⁻³.

Maximální beztlakový průtok

$$Q_{kap} = S \cdot v = 0,126 \cdot 1,91 = 0,240 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (14)$$

Vypočítané hodnoty Q_{kap} a v se shodují se zjištěnými tabelárními hodnotami [60].

5.2.9. Odtok z nádrže

Otevřené koryto BP je napojeno na koryto výpustného zařízení pod hrází. Tvar profilu koryta je lichoběžníkový a je navržen k bezpečnému odvodu přitékající vody z nádrže do recipientu Opusta. Je schopno společně odvádět vodu přitékající odpadním potrubím i přepadávající přes BP. Délka přípojného koryta od spodní výpusti po zaústění do recipientu je 320 m. Koryto bude 0,8 m hluboké, dno 1 m široké a svahy budou ve sklonu 1:1 s opevněním provedeným zatravňovacími dlaždicemi. Koryto je navrženo k výškově plynulému zaústění do koryta recipientu.



Obr. 15 Příklad užití zatravňovací dlažby TERCIA [64]

Vzorový výpočet průtočné kapacity přípojného koryta [62]

Plocha průtočného profilu

$$S = (b + m \cdot h) \cdot h = (1 + 1 \cdot 0,5) \cdot 0,5 = 0,75 \text{ m}^2 \quad (15)$$

kde S průtočná plocha [m²],
b šířka dna koryta [m],
m příčný sklon (1:m),
h výška hladiny [m].

Omočený obvod

$$O = b + 2 \cdot h \cdot (1 + m^2)^{0,5} = 1 + 2 \cdot 0,5 \cdot (1 + 1^2)^{0,5} = 2,41 \text{ m} \quad (16)$$

Hydraulický poloměr

$$R = \frac{S}{O} = \frac{0,75}{2,41} = 0,31 \text{ m} \quad (17)$$

Rychlostní součinitel podle Manninga

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{0,025} \cdot 0,31^{\frac{1}{6}} = 32,92 \text{ m}^{0,5} \cdot \text{s}^{-1} \quad (18)$$

Střední průtoková rychlost

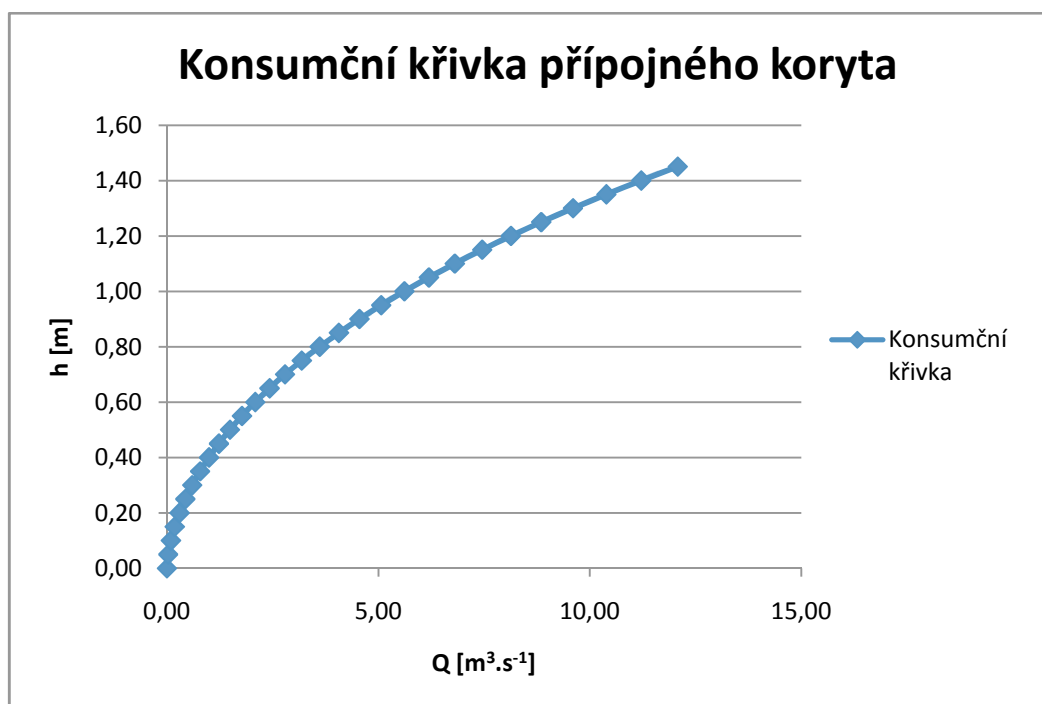
$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot I} = 32,92 \cdot \sqrt{0,31 \cdot 0,0117} = 1,98 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (19)$$

Průtok

$$Q = S \cdot v = 0,75 \cdot 1,98 = 1,49 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (20)$$

Tab. 15 Hodnoty průtoků v přípojném korytě při různých výškách hladiny

| h [m] | S [m ²] | O [m] | R [m] | C [m ^{0,5} .s ⁻¹] | v [m.s ⁻¹] | Q [m ³ .s ⁻¹] |
|----------|------------------------|----------|----------|---|---------------------------|---|
| 0,20 | 0,24 | 1,57 | 0,15 | 29,26 | 1,24 | 0,30 |
| 0,25 | 0,31 | 1,71 | 0,18 | 30,14 | 1,39 | 0,44 |
| 0,30 | 0,39 | 1,85 | 0,21 | 30,86 | 1,53 | 0,60 |
| 0,35 | 0,47 | 1,99 | 0,24 | 31,48 | 1,66 | 0,78 |
| 0,40 | 0,56 | 2,13 | 0,26 | 32,01 | 1,77 | 0,99 |
| 0,45 | 0,65 | 2,27 | 0,29 | 32,49 | 1,88 | 1,23 |
| 0,50 | 0,75 | 2,41 | 0,31 | 32,92 | 1,98 | 1,49 |
| 0,55 | 0,85 | 2,56 | 0,33 | 33,31 | 2,08 | 1,77 |
| 0,60 | 0,96 | 2,70 | 0,36 | 33,67 | 2,17 | 2,09 |
| 0,65 | 1,07 | 2,84 | 0,38 | 34,01 | 2,26 | 2,43 |
| 0,70 | 1,19 | 2,98 | 0,40 | 34,33 | 2,35 | 2,79 |
| 0,75 | 1,31 | 3,12 | 0,42 | 34,62 | 2,43 | 3,19 |
| 0,80 | 1,44 | 3,26 | 0,44 | 34,90 | 2,51 | 3,61 |



Graf 5 Konsumční křivka přípojného koryta

Z provedených výpočtů lze odvodit, že společný průtok vody přicházející do přípojného koryta z BP a odpadního potrubí při stoleté vodě bude odváděn při výšce hladiny $h = 0,61$ m ($Q = Q_{BP} + Q_{OP} = 1,942 + 0,240 = 2,182$ m³.s⁻¹).

Vodní tok Opusta

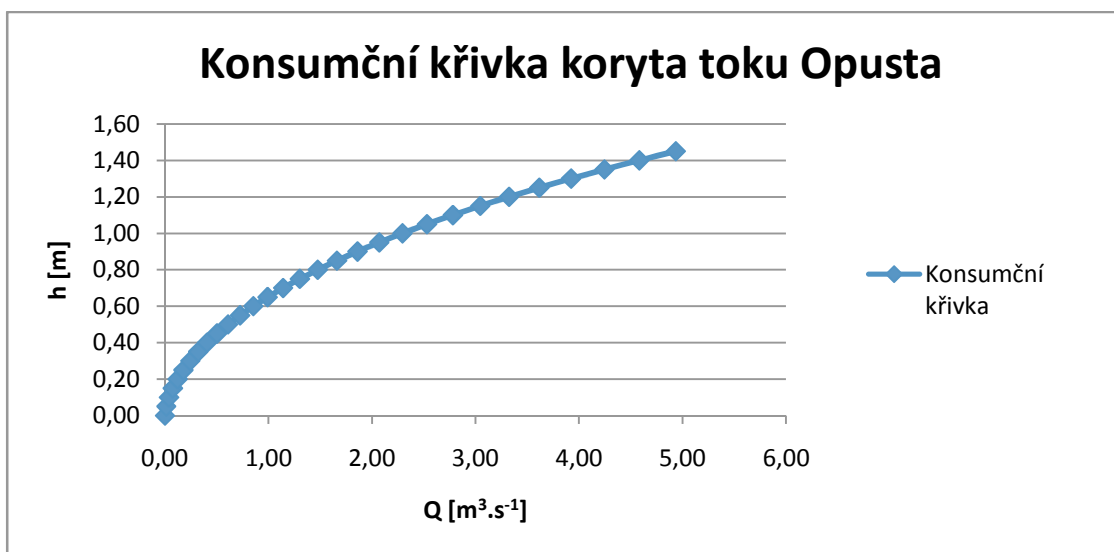
Přípojně koryto je napojeno na Opustu ze severu před komunikací Na Panské cestě (viz kap. 2.2). Opusta dále pod komunikací protéká propustkem. Koryto je hluboké 2 m, dno je široké 1 m, svahy ve sklonu 1:1 jsou pokryty přirozeným travním porostem.



Obr. 16 Východní pohled na Opustu nad propustkem [60]

Tab. 16 Hodnoty průtoků v toku Opusta při různých výškách hladiny

| h [m] | S [m ²] | O [m] | R [m] | C [m ^{0,5} .s ⁻¹] | v [m.s ⁻¹] | Q [m ³ .s ⁻¹] |
|----------|------------------------|----------|----------|---|---------------------------|---|
| 1,10 | 2,31 | 4,11 | 0,56 | 22,71 | 1,20 | 2,78 |
| 1,15 | 2,47 | 4,25 | 0,58 | 22,84 | 1,23 | 3,04 |
| 1,20 | 2,64 | 4,39 | 0,60 | 22,96 | 1,26 | 3,32 |
| 1,25 | 2,81 | 4,54 | 0,62 | 23,09 | 1,29 | 3,62 |
| 1,30 | 2,99 | 4,68 | 0,64 | 23,20 | 1,31 | 3,92 |



Graf 6 Konsumční křivka koryta toku Opusta



Obr. 17 Propustek pod komunikací Na Panské cestě [60]

Při návštěvě lokality byl zjištěn propustek v podobě jedné betonové kanalizační trouby DN 900. V případě nevybudování navrhovaného poldru bude propustek pro průtok $Q_{100} = 3,86 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ nedostatečný. Vhodné by bylo propustek vyměnit za potrubí DN 1400

případně 2 x DN 1100. Pokud by byla povodňová vlna transformována v ochranné nádrži, vychází propustek jako kapacitně dostačující [61].

6. Odhad ekonomických nákladů rozpracované varianty řešení

Náklady na výstavbu suchého poldru zahrnují stavební materiál a prováděcí práce. Ceny byly vyhledány u firem s přístupnou nabídkou služeb a zboží na internetu. V případě vyhlášení výběrového řízení obcí je možné předpokládat cenový pohyb nabídky. Objemy materiálů byly stanoveny z výkresu situace v elektronické podobě.

Tab. 17 Seznam položek ekonomických nákladů

| Položka | Jednotka | Jednotková cena [Kč] | Počet jednotek | Cena celkem [Kč] |
|--|----------------|----------------------|----------------|------------------|
| Skryvka | m ³ | 160 | 1 026 | 164 160 |
| Zemník | m ³ | 250 | 4 228 | 1 057 000 |
| Násyp a hutnění | m ³ | 350 | 4 650 | 1 627 500 |
| Lomový kámen na patku | m ³ | 380 | 84 | 31 920 |
| Lomový kámen na patní drén | m ³ | 380 | 340 | 129 200 |
| Písek na filtrační vrstvu návodního líce | m ³ | 850 | 256 | 217 600 |
| Písek na obsyp patního drénu | m ³ | 850 | 126 | 107 100 |
| Betonové potrubí DN 400 délky 2 m | ks | 2 600 | 13 | 33 800 |
| Obslužná ocelová lávka se zábradlím | ks | 22 000 | 1 | 22 000 |
| Šoupátko vřetenové pro potrubí DN 400 | ks | 16 700 | 1 | 16 700 |
| Drenážní potrubí PE DN 200 délky 1m | ks | 300 | 119 | 35 700 |
| Ochranné obetonování potrubí | m ³ | 2 450 | 3 | 7 350 |
| Beton pro základovou desku | m ³ | 2 450 | 6 | 14 700 |
| Ohumusování a osetí | m ² | 60 | 310 | 18 600 |
| Výkop přípojného koryta | m ³ | 220 | 518 | 113 960 |
| Zatrávňovací dlaždice | m ² | 560 | 820 | 459 200 |
| Odstranění meliorační svodnice | m ³ | 160 | 84 | 13 440 |
| Celkem | | | | 4 069 930 |

7. Závěr

Má diplomová práce se zabývá návrhem protipovodňového opatření v obci Bolatice. Z geomorfologických a hydrologických poznatků byl vytvořen návrh výstavby suchého poldru, jenž by navázal na protipovodňovou ochranu v obci, která v současné době spočívá v systému vybudovaných suchých retenčních nádrží.

První část práce popisuje současný stav a výskyt povodňových událostí v zájmové oblasti, dále je zmíněno legislativní a technické řešení malých vodních nádrží, obecná problematika povodní a zvládání povodňových rizik.

V druhé části je popsáno praktické řešení návrhu protipovodňové ochrany. Ve dvou variantách řešení je zohledněn návrh hráze pro teoreticky vypočítané a prakticky získané N-leté průtoky v povodí. Vybrána a podrobněji analyzována byla druhá varianta řešení. Návrh suchého poldru je podložen výpočty objemů nádrže, transformací povodňových vln, proudění v odpadním potrubí, přelivu přes bezpečnostní přeliv, konsumčních křivek přípojného koryta, koryta recipientu Opusta a odhadu finanční náročnosti výstavby poldru. Obsahuje popis řešení jednotlivých částí hráze a vlastní rekognoskace terénu. Výkresová dokumentace tvoří sedm výkresů: podrobnou a místní situaci, podélné profily hráze a nádrže, vzorový příčný řez tělesem hráze, příčné řezy po 25 m a výkres řezu a půdorysu funkčního objektu.

Hráz je navržena jako homogenní zemní a vymezuje ovladatelný prostor o objemu 21 153 m³. Bezpečnostní přeliv je schopen převádět průtoky o velikosti Q_{100} i více bez pomoci spodního výpustného zařízení. Betonové odpadní potrubí DN 400 je osazeno hlavním a nouzovým uzávěrem. Navrhované odváděcí koryto pod hrází je navrženo k bezpečnému odtoku vody přepadlé přes hranu bezpečnostního přelivu. Rozměry koryta Opusty jsou pro napojení poldru zcela dostačující. Základní ekonomické zhodnocení výstavby představuje částku čtyř milionů korun.

Použitá literatura

- [1] *Bolatice.cz* [online], 2013 [cit. 2013-02-24]. Oficiální stránky obce Bolatice. Dostupné z WWW: <<http://www.bolatice.cz/informace-o-obci/soucasnost-obce/>>
- [2] *Český statistický úřad* [online], 2012 [cit. 2013-02-24]. Počet obyvatel v obcích České republiky k 1. 1. 2012. Dostupné z WWW: <[http://www.czso.cz/csu/2012edicniplan.nsf/t/00002BD91A/\\$File/13011203.pdf](http://www.czso.cz/csu/2012edicniplan.nsf/t/00002BD91A/$File/13011203.pdf)>.
- [3] *Mapy.cz* [online], 2013 [cit. 2013-02-25]. Internetový mapový server. Dostupné z WWW: <<http://www.mapy.cz/>>.
- [4] *Regionální informační servis* [online], 2012 [cit. 2013-02-25]. Informace o Moravskoslezském kraji. Dostupné z WWW: <<http://www.risy.cz/cs/krajske-ris/moravskoslezsky-kraj/regionalni-informace/o-kraji/>>.
- [5] *Povodí Odry* [online], 2013 [2013-02-25]. Plán oblasti povodí Odry. Dostupné z WWW: <<http://www.pod.cz/plan-oblasti-povodi-Odry/a-popis/a-1.html>>
- [6] Hydrologická data ČHMÚ
- [7] TRUPL, J.: *Intensity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy*, Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský, 1958, 76 s.
- [8] STRÁNSKÝ, D. a kol.: *Srážkové vody a urbanizace krajiny*, Vyd. 1. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2012, 72 s. ISBN 978-80-87438-28-2
- [9] Adamec. V., Hrdina. P.; *Protipovodňová ochrana obce Bolatice*, In ŠENOVSKÝ, M (ed.). *Ochrana obyvatelstva – Dekontam 2011: 2.2. - 3.2.* 2011. [CD-ROM], Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011, roč. X, str. 1-3, 148 s. ISBN 978-80-7385-096-8
- [10] *Povodňový plán obce Bolatice*. Schváleno Radou obce Bolatice dne 9. 2. 2005 – uns. č. 191/55/n
- [11] ŽÍDKOVÁ, P.: *Bolatice – poldry, oznámení záměru ve smyslu zákona č. 100/2001 Sb. V rozsahu přílohy č.3*, Opava, 2008. 44 s.
- [12] TNV 75 2415 Suché nádrže
- [13] PLECHÁČ, V.: *Voda, problém současnosti a budoucnosti*, Vyd. 1. Praha: Svoboda, 2007, 327 s. ISBN 80-205-0096-0
- [14] *Opavský a hlavičský deník* [online], 2011 [cit. 2013-03-01]. Bolatičtí nedávno dokončili protipovodňovou ochranu. Dostupné z WWW: <http://opavsky.denik.cz/zpravy_region/bolaticti-nedavno-dokoncili-protipovodnovou-ochran.html>

- [15] CAHA, J., MIKULINEC, F. a kol.: *Odvodňování malých obcí a okrajových částí měst*, Vyd. 1. Ostrava: VŠB-TUO, 2011. ISBN 978-80-7431-076-8
- [16] ADAMEC, V., HRDINA, P.: Systém protipovodňové ochrany obce Bolatice. *Časopis Spektrum*, 2011. s.15-18. ISSN 1211-6920
- [17] ODVÁŘKA, J.: Diplomová práce; *Posouzení protipovodňové ochrany obce Bolatice*. Ostrava: VŠB-TUO, 2011, 53 s.
- [18] BENEŠ, J.: *Poldry Bolatice - Průvodní a souhrnná technická zpráva*, Obec Bolatice, 2005
- [19] *Základní vodohospodářská mapa* [online], 2012 [cit. 2013-02-18]. Hydroekologický informační systém VÚV TGM. Dostupné z WWW: <<http://heis.vuv.cz/>>
- [20] DOLEŽAL, P., GOLÍK, P. a kol.: *Malé vodní a suché nádrže*, Vyd. 1. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2011, 108 s. ISBN 978-80-86364-16-2
- [21] NIETSCHEROVÁ, J., KOUKALOVÁ, V.: *Vodoprávní předpisy*, Vyd. 1. Praha: ABF-Arch, 2009, 184 s. ISBN 978-80-86905-49-5
- [22] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- [23] Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)
- [24] Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny
- [25] ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže
- [26] NEUWIRTH, A.: *Úvod do vodního hospodářství*, Vyd. 1. Ostrava: VŠB-TUO, 1996, 173 s. ISBN 80-7078-317-6
- [27] VÁCLAVÍK, V.: *Účelové vodohospodářské nádrže*, Vyd. 1. Ostrava: VŠB-TUO, 2007, 127 s. ISBN 978-80-248-1336-3
- [28] *Geoportál ČÚZK* [online], 2012 [cit. 2013-02-20]. Přístup k mapovým produktům resortu. Dostupné z WWW: <<http://geoportal.cuzk.cz/>>
- [29] ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod
- [30] KREJČÍ, V. a kol.: *Odvodnění urbanizovaných území – koncepční přístup*, Vyd. 1. Brno: NOEL 2000, 2002, 562 s. ISBN 80-86020-39-8
- [31] VRÁNA, K., BERAN, J.: *Rybníky a účelové nádrže*, Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1998, 150 s. ISBN 80-01-01713-3

- [32] ČSN EN 1997-1 (731000), Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí, Část 1: Obecná pravidla
- [33] ČSN 75 2310 Sypané hráze
- [34] BROŽA, V., SATRAPA, L.: *Hydrotechnické stavby 10*, Vyd. 2. Praha: ČVUT, 1997, 170 s. ISBN 80-01-01581-5
- [35] VÁCLAVÍK, V.: Multimediální učební text – *Vodohospodářská zařízení I: Vodohospodářské stavby*, VŠB-TU Ostrava [online]; 2012, [cit. 2013-03-11], Dostupné z WWW: <<http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ1/vyuka/vodohosp/prehrady.html>>
- [36] BROSCH, O.: *Povodí Odry*, Vyd. 1. Ostrava: ANAGRAM, 2005, 324 s. ISBN 80-7342-048-1
- [37] *The Guardian world news* [online], 2011 [cit. 2013-03-10]. China warns of urgent problems facing Three Gorges dam. Dostupné z WWW: <<http://www.guardian.co.uk/world/2011/may/20/three-gorges-dam-china-warning>>
- [38] VOTRUBA, L., HEŘMAN, J. a kol: *Spolehlivost vodohospodářských děl*, Vyd. 1. Praha: Česká matice technická, 1993, 488 s. ISBN 80-209-0251-1
- [39] ZEVENBERGEN, C., CASHMAN, A., EVELPIDOU, N., PASCHE, E., GARVIN, S., ASHLEY, R.: *Urban flood management*. 1st ed. Leiden, Netherlands: CRC Press/Balkema, 2010, 340s., ISBN 978-0-415-55944-7
- [40] STRÁNSKÝ, D. a kol: *Hospodaření s dešťovými vodami ve městech a obcích*, Vyd. 1. Brno: ARDEC, 2010, 94 s. ISBN 978-80-86020-67-9
- [41] SLAVÍKOVÁ, L.: *Ochrana před povodněmi v urbanizovaných územích*, Vyd. 1. Praha: IREAS, 2007, 82 s. ISBN 978-80-86684-48-2
- [42] GRMELA, A.: Multimediální výukový text – *Geologie: Základy hydrogeologie*, VŠB-TU Ostrava [online]; 2004, [cit. 2013-03-12], Dostupné z WWW: <http://geologie.vsb.cz/geologie/kapitoly/10_z%ED1klady_hydro/10_z%ED1klady_hydrogeologie.htm>
- [43] BUTLER, D., DAVIES, J.: *Urban drainage*. 3rd ed. London, England: E & FN Spon, 2011, 656 s. ISBN 978-0-415-45526-8
- [44] Vyhláška č. 471/2001 Sb., o technicko-bezpečnostním dohledu nad vodními díly
- [45] Metodický pokyn MZe č.j. 36069/2005-16000 ke zpracování posudků pro zařazení vodního díla do kategorie z hlediska technicko-bezpečnostního dohledu. 2005

- [46] ČSN 75 2340 Navrhování přehrad – Hlavní parametry a vybavení
- [47] Vyhláška č. 195/2002 Sb., o náležitostech manipulačních a provozních řádů vodních děl
- [48] KROČOVÁ, Š.: *Havárie a řízení vodního hospodářství*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-TUO, 2006, 96 s. ISBN 80-248-1246-0
- [49] BALOUN, J. a kol.: *Vodní hospodářství obcí: příručka pro obce*, Vyd.1. České Budějovice: Česká společnost vodohospodářská ČSSI, 2011. 208 s.
- [50] Vyhláška č. 24/2011 Sb., o plánech povodí a plánech pro zvládání povodňových rizik
- [51] Zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon)
- [52] TÓTH, J., TÓTH, T., LAZOR, P., SLÁVIK, M.: Rizikové prvky v dnových sedimentech a rybách z malej vodnej nádrže. *Sborník Mendelnet 2012* [online]; 2010, s.1030-1035, [cit. 2013-03-14]. Dostupné z WWW: <http://mnet.mendelu.cz/mendelnet2012/articles/37_toth_730.pdf>. ISBN 978-80-7375-563-8
- [53] BERÁNKOVÁ, T: Přístup k hodnocení náchylnosti zemědělských povodí ke ztrátám fosforu z půdy do vody. *Časopis Vodní hospodářství* [online]; 2010, s.182-184, [cit. 2013-03-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.vodnihospodarstvi.cz/ArchivPDF/vh2010/vh07-2010.pdf>>. ISSN 1211-0760
- [54] PAZWASH, H.: *Urban storm water management*. 1st ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2011, 550 s., ISBN 978-1-4398-1035-4
- [55] BEDNARCZYK, S., SZYMKIEWICZ, R., SULIGOWSKI, Z.: *Water management and hydraulic engineering*. 1st ed. Poland: Politechnika Gdańska, 2001, 445 s. ISBN 83-909683-3-9
- [56] WANG, L. K. et al.: *Hazardous industrial waste treatment*, 1st ed. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis, 2007, 516 s. ISBN 978-0-8493-7574-3
- [57] Metodický pokyn MŽP č. 7/2001 – Navrhování, výstavba a provoz suchých nádrží

- [58] KONKOL, M.: *Návrh koncepce odkanalizování obce Písečná*. Bakalářská práce. VŠB–TUO. HGF. Ostrava. 2009
- [59] ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky
- [60] GOLA, L.: Fotografie, 2013
- [61] *Prefa.cz* [online], 2013 [cit. 2013-03-20]. Hydraulické tabulky pro navrhování kapacitních průtoků betonových kruhových a vejčitých trub. Dostupné z WWW: <prefa.cz/sites/prefa.cz/files/tech__prefa_brno_hydraulicke_tabulky_web.pdf>
- [62] BÉM, J., JIČÍNSKÝ, K.: *Hydraulika v příkladech*, Vyd. 2. ČVUT: Praha, 1982, 330 s.
- [63] HASÍK, O., DOSTÁLOVÁ, J.: *Vodní stavitelství*, VŠB-TU Ostrava, 2002, ISBN 80- 248-0078-0
- [64] *Betonové výrobky Diton* [online], 2013 [cit. 2013-03-21]. Produkty pro vodní a inženýrské stavby. Dostupné z WWW: <<http://www.diton.cz/tercia>>

Seznam obrázků

| | |
|---|--------|
| Obr. 1 Poloha obce v Moravskoslezském kraji | - 3 - |
| Obr. 2 Navrhované protipovodňové opatření v obci | - 4 - |
| Obr. 3 Poldr vybudovaný v roce 2011 u ulice Polní..... | - 6 - |
| Obr. 4 Lokalizace poldrů v obci Bolatice | - 7 - |
| Obr. 5 Situace pro modelování a simulaci odtokových poměrů v obci | - 8 - |
| Obr. 6 Umístění nového poldru v rámci DP na ZVHM..... | - 8 - |
| Obr. 7 Půdorysný tvar hrází: a) čelní přímá, b) čelní vypouklá, c) čelní vydutá,..... | - 13 - |
| Obr. 8 Homogenní hráz na nepropustném podloží | - 14 - |
| Obr. 9 Nehomogenní hráz se středovým těsněním | - 14 - |
| Obr. 10 Zemní hráz s variantami umístění zemního těsnění | - 16 - |
| Obr. 11 Příklad výstavby bezpečnostního přelivu se skluzem | - 18 - |
| Obr. 12 Výpustná zařízení na hrázi Tři soutěsky v provincii Chu-pej, Čína..... | - 19 - |
| Obr. 13 Možnosti realizace protipovodňové ochrany intravilánu | - 21 - |
| Obr. 14 Východní pohled na prostor poldru | - 31 - |
| Obr. 15 Příklad užití zatravnovací dlažby TERCIA | - 39 - |
| Obr. 16 Východní pohled na Opustu nad propustkem..... | - 42 - |
| Obr. 17 Propustek pod komunikací Na Panské cestě | - 43 - |

Seznam tabulek

| | |
|---|--------|
| Tab. 1 Hydrologická data pro zájmový profil toku Opusta | - 3 - |
| Tab. 2 M-denní průtoky v zájmovém profilu toku Opusta | - 4 - |
| Tab. 3 N-leté průtoky v zájmovém profilu toku Opusta..... | - 4 - |
| Tab. 4 Intenzity dešťů na Opavsku | - 4 - |
| Tab. 5 Součinitelé odtoku podle druhu a sklonu terénu..... | - 27 - |
| Tab. 6 Objemy N-letých dešťů | - 28 - |
| Tab. 7 Transformace povodňové vlny pro Q_{100} | - 28 - |
| Tab. 8 Parametry hráze varianty A | - 29 - |
| Tab. 9 N-leté průtoky v závěrných profilech | - 29 - |
| Tab. 10 Výpočet objemu nádrže | - 30 - |

| | |
|---|--------|
| Tab. 11 Průběh transformace povodňové vlny při Q_{100} | - 32 - |
| Tab. 12 Parametry homogenní hráze | - 34 - |
| Tab. 13 Vlastnosti vybraných zemin | - 34 - |
| Tab. 14 Velikost průtoků u různých výšek přelivného paprsku | - 36 - |
| Tab. 15 Hodnoty průtoků v přípojném korytě při různých výškách hladiny..... | - 41 - |
| Tab. 16 Hodnoty průtoků v toku Opusta při různých výškách hladiny | - 42 - |
| Tab. 17 Seznam položek ekonomických nákladů..... | - 44 - |

Seznam grafů

| | |
|---|--------|
| Graf 1 Četnost záplav v obci Bolatice | - 5 - |
| Graf 2 Charakteristické čáry nádrže | - 31 - |
| Graf 3 Transformace povodňových vln | - 33 - |
| Graf 4 Konsumční křivka přelivné hrany bezpečnostního přelivu | - 37 - |
| Graf 5 Konsumční křivka přípojného koryta | - 41 - |
| Graf 6 Konsumční křivka koryta toku Opusta..... | - 43 - |

Seznam příloh

1. Podrobná situace
2. Podélný profil hráze
3. Podélný profil nádrže
4. Vzorový příčný řez tělesem hráze
5. Řez a půdorys funkčního objektu
6. Příčné řezy tělesem hráze po 25 m
7. Místní situace